

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Гальванические ПОКРЫТИЯ в машиностроении

СПРАВОЧНИК

2

« МАШИНОСТРОЕНИЕ »

Гальванические ПОКРЫТИЯ в машиностроении

Справочник в двух томах
Том 2

Под редакцией д-ра техн. наук
проф. М. А. ШЛУГЕРА
и канд. техн. наук Л. Д. Тока



МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
1985

Авторы тома: д-р техн. наук проф. Ф. Ф. Ажогин, канд. хим. наук И. Н. Андреев, канд. хим. наук В. А. Казаков, канд. техн. наук А. В. Мареничев, инж. Н. Ф. Мелашенко, д-р техн. наук проф. С. А. Мерекалов, канд. техн. наук А. Я. Рябой, канд. техн. наук Л. Д. Тока, канд. техн. наук М. М. Фотиев, д-р техн. наук проф. М. А. Шлугер

Рецензент инж. В. Я. Ключков

Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник.
Г17 В 2-х томах/Под ред. М. А. Шлугера, Л. Д. Тока. — М.: Машиностроение, 1985. — Т. 2. 1985. 248 с., ил.

В пер.: 1 р. 60 к.

Приведены сведения по технологии осаждения неметаллических и металлических покрытий на легкие цветные металлы и пластмассы, по контролю гальванических ванн и качества покрытий, оборудованию, механизации и автоматизации гальванического производства, а также по охране труда.

Для инженерно-технических работников машиностроительных заводов, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, занимающихся разработкой технологии и оборудования для гальванических цехов.

2704070000-131
Г 038 (01)-85 131-85

ББК 34.663
6П4.52

© Издательство «Машиностроение», 1985 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 14. Гальванические покрытия цветных металлов (А. Я. Рябой)	5
Гальванические покрытия цинковых сплавов	5
Гальванические покрытия алюминия и его сплавов	6
Гальванические покрытия магния и его сплавов	12
Гальванические покрытия титана и его сплавов	14
Гальванические покрытия меди и ее сплавов	17
Глава 15. Нанесение покрытий на пластмассы и диэлектрики (Н. Ф. Мелашенко)	18
Общие сведения	18
Диэлектрики, подвергаемые покрытию	20
Конструирование деталей	21
Переработка пластмасс	22
Схема технологического процесса	23
Глава 16. Электроосаждение металлов из органических электролитов (В. А. Казаков)	36
Общие сведения	36
Алюминирование	37
Электроосаждение бериллия, магния, германия	42
Электроосаждение титана, молибдена, индия	43
Электроосаждение меди, цинка, кадмия	43
Электроосаждение хрома	44
Электроосаждение железа, кобальта, никеля	45
Контактные покрытия	46
Глава 17. Неметаллические неорганические покрытия (Ф. Ф. Ажогин)	47
Фосфатирование	47
Оксидирование	57
Электрохимическое оксидирование (анодирование)	60
Хроматирование	66
Пассивирование	71
Глава 18. Контроль электролитов и покрытий (М. А. Шлугер)	72
Анализ металлодержавшего компонента в электролитах	72
Анализ комплексобразующих и других компонентов электролитов	78
Анализ растворов для оксидирования и фосфатирования	81
Поляррография	82
Контроль кислотности	83
Определение толщины покрытий	87
Контроль качества покрытий	97
Контроль распределения металла	108
Глава 19. Оборудование для механической подготовки поверхности и стационарные ванны (Л. Д. Тока)	110
Шлифовально-полировальное оборудование	110
Гальванические ванны	119
Футеринка гальванических ванн	128
Колокольные и барабанные ванны	130
Расчет колоколов и барабанов	136
Вентиляция	137
Глава 20. Автоматические линии для нанесения гальванических покрытий (Л. Д. Тока)	144
Каретные автоматические линии с жестким единичным циклом	144
Автоспекальные автоматические линии с программным управлением	150
Работа гальванического оборудования по безотходной технологии	158
Приборы для регулирования режимов осаждения и	

Контроль качества покрытия	160	Глава 23. Охрана труда в гальваническом производстве (С. А. Меркалов)	198
Вспомогательное оборудование	164	Система стандартов безопасности труда	198
Глава 21. Технологическая оснастка гальванических автоматических линий (И. Н. Андросов)	167	Гальваническое производство и охрана труда	200
Обеспечение эксплуатационной надежности при проектировании подвесочных устройств и другой технологической оснастки	167	Глава 24. Нейтрализация сточных вод гальванических цехов (С. А. Меркалов)	208
Учет влияния геометрических параметров на распределение тока при проектировании подвесочных устройств	175	Гальваническое производство и охрана гидросферы	208
Схема расчетов при проектировании подвесочного устройства	181	Методы очистки цианосодержащих сточных вод	213
Глава 22. Электрическое оборудование гальванических цехов (М. М. Фотинко)	182	Методы очистки хромосодержащих сточных вод	217
Источники питания	182	Методы очистки сточных вод, содержащих кислоты, щелочи и ионы тяжелых металлов	224
Регулирование выходных параметров источников тока	183	Глава 25. Материалы, применяемые в гальваническом цехе (А. В. Маринин)	226
Регулирование тока в гальванической ванне	184	Химикаты	226
Источники тока специальной формы	185	Металлы	226
Выпрямительные агрегаты из кремниевых и селеновых вентилей	186	Неметаллические материалы	226
		Абразивные материалы	226
		Вспомогательные материалы	226
		Предметный указатель	236
		Список литературы	248

Глава 14.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ*

Трудности при нанесении гальванических покрытий на цветные металлы и сплавы обусловлены наличием на их поверхности окисной пленки с большим электроотрицательным потенциалом, препятствующей прочному сцеплению основы и осаждаемого покрытия. Поэтому нанесение гальванических покрытий на такие поверхности связано со специфическим способом их подготовки, при котором удаляется окисная пленка и предупреждается вторичное ее образование.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ЦИНКОВЫХ СПЛАВОВ

Детали из цинковых сплавов подвергаются гальванической обработке для получения защитно-декоративного покрытия, так как незащищенные цинковые детали даже в нормальной атмосфере быстро изменяют внешний вид из-за окисления и образования углекислых солей. Обычно такие детали медят, никелируют и хромируют. Покрытия такими металлами, как, например, Sn и его сплавами, а также благородными металлами, наносят относительно тонким слоем.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка включает следующие операции: обезжиривание в органическом растворителе, обезжиривание химическое, обезжиривание электрохимическое, активацию.

После шлифования и полирования отлитые из цинкового сплава детали очищают от загрязнений в органическом растворителе, например в тетрагидроэтилене, при температуре 121°C в течение 0,5—5,0 мин. Очистка проводится в специальной аппаратуре погружением деталей в кипящий растворитель на 30—60 с с последующей выдержкой в парах растворителя. Допускается очистка бензином с по-

следующей сушкой на воздухе при температуре 15—30°C в течение 30—40 мин.

Химическое обезжиривание деталей проводят в растворе следующего состава (г/л):

Na ₂ PO ₃ · 12H ₂ O	15—35
Na ₂ CO ₃	15—35
цианол TC-10	3—5

Режим обезжиривания: $t = 60 \pm 5^\circ\text{C}$; $\tau = 5 \pm 20$ мин.

Электрохимическое обезжиривание производят включением деталей в качестве катода или анода. В некоторых случаях обезжиривание ведется попеременно — то на анодном, то на катодном режиме с различным временем работы на каждом.

Для деталей из цинковых отливок нельзя рекомендовать только анодное электрохимическое обезжиривание в растворах, содержащих силикат натрия, так как при этом возможно образование невидимых силикатных пленок, которые не растворяются ни в H₂O, ни в HCl или H₂SO₄ и могут быть растворены только в разбавленной HF.

Электрохимическое обезжиривание деталей из цинковых отливок проводят в одном из растворов следующего состава (г/л):

1. Na ₂ PO ₃ · 12H ₂ O	20—40
Na ₂ CO ₃	20—40

Режим обезжиривания: $t = 60 \pm 5^\circ\text{C}$; $i_a = 5 \pm 6$ А/дм²; $\tau = 20 \pm 30$ с.

2. NaOH	8—12
Na ₂ PO ₃ · 12H ₂ O	4—6
Na ₂ CO ₃	8—12
стекля. натриевое жидкое	25—30
сульфатол	0,1—0,3

Режим обезжиривания: $t = 60 \pm 70^\circ\text{C}$; $i_k = 1 \pm 2$ А/дм²; $\tau = 30$ с; pH 9,3—10,5.

За электрохимическим обезжириванием следует промывка и активация.

Активацию деталей из цинковых сплавов проводят в растворе следующего состава (г/л)

H ₂ SO ₄	30—80
--------------------------------	-------

Режим активации: $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$; продолжительность — до начала выделения пузырьков газа.

* Здесь и далее обозначения величин см. в томе I.

Гальваническое осаждение покрытий. Многослойные покрытия. При нанесении Cu-Ni-Cr -покрытий на детали из цинковых отливок производят предварительное меднение в цинкостом медном электролите низкой концентрации со значением pH 11–12. Тонкий медный слой предохраняет отливку из Zn деталь от растворения. Слой Cu не должен быть слишком тонким во избежание возникновения реакции с основным металлом в порах. После предварительного меднения осаждают покрытие Cu-Ni-Cr из электролитов, приведенных в соответствующих главах справочника.

ИХХТ АН Литовской ССР разработан процесс цинканистого меднения деталей из цинковых отливок марок ЦАМ 4-1 и ЦАМ 4-3 (Лимеда МЦАМ-1 и Лимеда МЦАМ-2).

Осаждение Cu проводят в электролите следующего состава (Лимеда МЦАМ-1) (г/л):

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	85–100
$\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	380–400
кислота салicyловая	30–40

Режим осаждения: $t = 50 \pm 55^\circ\text{C}$; $i_k = 0,2 \pm 2,0 \text{ А/дм}^2$ — без переключения; $i_k = 0,5 \pm 5,0 \text{ А/дм}^2$ — при переключении сжатом воздухом; $i_d = 0,2 \pm 2,0 \text{ А/дм}^2$. Натрий пиррофосфорнокислый может быть заменен на соответствующее количество калия пиррофосфорнокислого.

Цинкование. При гальванической обработке деталей из цинковых отливок не удается полностью избежать образования пузырей вследствие того, что изгибы на наружной поверхности и поры в литой корке при меднении не закрываются, а только перекуваются. Чистые ограничить образование пузырей, наносят на электрохимически отполированную поверхность выравнивающий слой Zn.

Для электрохимического полирования деталей цинковых отливок применяют электролит следующего состава (г/л)

NaOH	750
-------------------------	-----

Режим полирования: $t = 24 \pm 32^\circ\text{C}$; $i_k = 2 \text{ А/дм}^2$; напряжение 8–10 В; продолжительность 2–4 мин; скорость вращения детали 10 мин/мин; материал катодов — горячекатаная сталь.

Время полирования устанавливается в зависимости от толщины литой корки цинковой отливки.

Выравнивающий электролит для цинкования имеет следующий состав (г/л):

$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	450
NH_4Cl	15
H_2BO_3	15
лимонитовая кислота	25
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	15
глицерин	7
сахарин	18
парагидроксибензойная кислота	0,7
тергитол * (об. доля, %)	0,5

Режим осаждения: $t = 46 \pm 48^\circ\text{C}$; $i_k = 16 \pm 32 \text{ А/дм}^2$; pH 2,4–0,05; время выдержки на катоде и аноде соответственно 15 и 9 с. Электролит нагревается воздухом, детали приводятся в движение. Аноды из Zn высокой чистоты помещены в нейтральной среде. Время осаждения слоя толщиной 56–55 мкм в зависимости от плотности тока составляет 25–50 мин.

В результате цинковый слой создает хорошее основание для последующих слоев из Cu, Ni и Cr. Особо высокая коррозионная стойкость детали из цинковых отливок под давлением достигается при следующих толщинах покрытия: цинкового 25–50 мкм, медного 2,5–7,5 мкм и никелевого 12,5–25 мкм.

Хромирование. Процесс непосредственного хромирования деталей из цинковых отливок включает следующие операции: полирование; очистку или предварительное обезжиривание в трихлорэтилене; катодное обезжиривание в щелочном растворе электролита; погружение в 0,1–0,5 % ный раствор FeCl_3 при комнатной температуре; промывку в проточной воде; хромирование в тетрахромированном электролите при $t = 30 \pm 60 \text{ А/дм}^2$; $t = 20^\circ\text{C}$; промывку, сушку и полирование.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

На детали из алюминия и его сплавов функциональные гальванические покрытия наносят для обеспечения пайки обычными методами (Ni, Cu, Sn и его сплавы), уменьшения переходного сопротивления электродов (Ag, Rh), устранения заедания резьбы (Zn, Cd), повышения износостойкости (Cr, Ni), улучшения сцепления с резиной при опрессовке (латунирование) и т. д.

* Специальное смачивающее вещество.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка подразделяется на обычную и специальную. Обычная подготовка деталей включает следующие операции: обезжиривание в органическом растворителе, обезжиривание химическое, осветление, травление и осветление.

Обезжиривание в органическом растворителе деталей из Al и его сплавов проводится так же, как и деталей из цинковых сплавов.

Химическое обезжиривание проводят в растворе следующего состава (г/л):

$\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	20–50
NaOH	5–12
стекло натриевое жидкое	25–35

Режим обезжиривания: $t = 60 \pm 70^\circ\text{C}$; $t = 5 \pm 10 \text{ мин}$.

Осветление деталей из Al и его деформируемых сплавов выполняется в растворе следующего состава (г/л)

HNO_3	300–400
--------------------------	---------

Режим осветления: $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$; $t = 1 \pm 2 \text{ мин}$.

Осветление деталей из кремнистых литейных алюминиевых сплавов проводят в растворе следующего состава (г/л):

HNO_3	450–650
HF	80–120

Режим осветления: $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$; $t = 0,2 \pm 1,0 \text{ мин}$.

Травление деталей проводится в растворе следующего состава (г/л)

NaOH	80–100
-------------------------	--------

Режим травления: $t = 45 \pm 50^\circ\text{C}$; $t = 0,5 \pm 2,0 \text{ мин}$.

Специальная подготовка деталей из Al и его сплавов включает операцию нанесения подслоя, который обеспечивает прочное сцепление осаждаемого покрытия с основой. Подслой наносят контактным или электрохимическим способами, или анодным окислением.

Контактное осаждение Zn и Zn–Ni. Этот метод из-за своей простоты и дешевизны является наиболее распространенным и универсальным.

При гальваническом осаждении покрытий наиболее прочное сцепление обеспечивается при предварительном нанесении контактным способом более тонких, плотных и сплошных цинковых осадков. Снижение концентрации раствора приводит обычно к образованию более толстых и менее плотных осадков.

На толщину осаждаемого в цинкостом растворе цинка в большой степени влияет концентрация NaOH . Чем выше концентрация NaOH , тем тоньше осадки Zn. В разбавленных и концентрированных цинковых растворах осаждаются различные по структуре и толщине покрытия. В разбавленных растворах осаждаются преимущественно крупнокристаллические толстые осадки Zn. Все осадки, полученные в концентрированных растворах, обладают мелкозернистой структурой, более тонкие, плотные, компактные и лучше сцеплены с поверхностью Al.

Способ цинкостом цинкования пригоден как для деформируемых, так и для литейных сплавов.

Хорошие покрытия получают при осаждении в цинкостом растворе следующего состава (г/л):

ZnO	60–70
NaOH	250–420

Режим осаждения: $t = 13 \pm 25^\circ\text{C}$; продолжительность обработки для чистого Al и его сплавов с Si 10 с, для сплавов Al с Cu 1–5 с.

При температуре раствора ниже 18°C для получения хорошего сцепления необходима более длительная обработка.

Цинкостом обработку проводят также в следующем растворе (г/л):

ZnO	70–100
NaOH	400–525
FeCl_3	1–2
калий-натрий вириокислый	10–15

Режим осаждения: $t = 13 \pm 25^\circ\text{C}$; $t = 0,25 \pm 4,0 \text{ мин}$.

Обработку в цинкостом растворе часто проводят дважды, снимая первый слой в растворе HNO_3 .

Воздействовать на процесс образования цинковых покрытий, делая их более плотными, компактными и коррозионностойкими, можно путем введения в раствор для контактного осаждения так называемых модификаторов: сегнетову соль (10–20 г/л), FeCl_3 (1–2 г/л) и NaNO_2 (1 г/л). Рост осадка в таких растворах происходит первые 15 с, поэтому длительность обработки в них не играет такой роли, как в обычных растворах.

ИХХТ АН Литовской ССР разработан процесс подготовки поверхности Al и его сплавов для нанесения гальванических покрытий Лимеда Al. Процесс предназначен для образова-

ния на поверхности деталей вместо окисной пленки пленки из сплава $Zn-Ni$, на которую наносят гальванические покрытия.

Для образования $Zn-Ni$ пленки на Al и его сплавах типа дюралюминия, алюминия, а также сплавах Al с Mg и Mn применяют раствор следующего состава (г/л):

$Zn (BF_4)_2$	40—80
$Ni (BF_4)_2$	100—250
NH_4BF_4	5—40

Для повышения прочности сцепления наносимых гальванических покрытий с дюралюминием для образования $Zn-Ni$ пленки применяют раствор следующего состава (г/л):

$Zn (BF_4)_2$	40—80
$Ni (BF_4)_2$	100—250
NH_4BF_4	5—40
триэтаноламин, мл/л	10—50

Детали в растворах выдерживают сначала без тока, затем дают импульс тока, промывают в воде и осаждают гальванические покрытия.

Гальваническое осаждение покрытий. Осаждение по контактно-осажденным Zn и Ni . Наиболее распространенный способ нанесения гальванических покрытий на детали после обработки в цинкаторе состоит в их последующем immersion в цинкатор ванно, в которой pH не должно превышать 10, а концентрация свободного цианида 4 г/л. Загрузку деталей осуществляют под током, и в первые 2 мин электролиза работают при повышенной в 2 раза плотности тока. Толщина осажденного слоя Si должна быть 1,5 мкм $\leq S \leq 2,5$ мкм. Оптимальные результаты достигаются при применении медных электролитов, содержащих сегнетову соль. При нанесении более толстых слоев Si производят дополнительное осаждение в пирофосфатных или сернокислых электролитах. По слою Si возможно обычное осаждение других металлов. На контактно-осажденный слой Zn можно осаждать Zn и Cd из цианистых и кислых электролитов. Перед кадмированием припаяют также контактное осаждение Cd из раствора следующего состава (г/л):

$CdSO_4 \cdot 8/3H_2O$	3,3—3,6
HF , мл/л	100—105
клей гидролизанный	1,8—2

При кадмировании в обычных цианистых электролитах после контактного осаждения Zn или Cd начальная плотность тока (в течение первых 10—15 мин) не должна превышать 1—1,2 А/дм²; содержание однокислоты в цианистых электролитах должно быть минимальным. Для улучшения качества покрытия рекомендуется проводить кадмирование в двух электролитах, разбавленном (предварительное кадмирование) и основном, в котором осаждают слой Cd необходимой толщины. Их составы следующие (г/л):

1. CdO	6,5—7,5
$NaCN$	55—60
Режим осаждения: $t = 18 \pm 25^\circ C$; $i_K = 2,5$ А/дм ² ; $\tau = 1$ мин.	
2. CdO	23—26
$NaCN$	50—100
Режим осаждения: $t = 18 \pm 25^\circ C$; $i_K = 1,5 \pm 4,5$ А/дм ² ; $\tau = 0,6—1,5$ мин.	

При указанном процессе можно наносить кадмиевые покрытия непосредственно без контактно-осажденного слоя металла.

Имеются рекомендации по твердому хромированию алюминиевых деталей после двукратного контактного цинкования и удаления первого слоя. При этом процесс протекает в две стадии: 1) в стандартном электролите для хромирования при $18—21^\circ C$ и $i_K = 16$ А/дм²; 2) в электролите того же состава при $55^\circ C$ и повышенной вдвое плотности тока.

Контактное никелирование проводят в растворах следующего состава (г/л):

1. $NiCl_2 \cdot 6H_2O$	23—43
H_2PO_4	1420—1450
Режим осаждения: $t = 50 \pm 60^\circ C$; $i_K = 6,2 \pm 0,5$ А/дм ² .	
2. $NiCl_2 \cdot 6H_2O$	550—650
NH_4F	10—20
H_2BO_3	26—40
Режим осаждения: $t = 15 \pm 30^\circ C$; $\tau = 1$ мин.	

Пленка контактного Ni должна быть светлой и иметь прочное сцепление с основой. После обработки никелевое покрытие удаляют в HNO_3 (~470 г/л) при $15—30^\circ C$. Допускается двукратное осаждение Ni с промежуточным и последующим его удалением. Перед износостойким хромированием двукратное контактное осаждение Ni с промежуточным и последующим его удалением обязательно. Металлические покрытия (химический Ni , из-

носостойкие Cr , Si и др.) наносят на подготовленные таким образом детали после промывки в холодной проточной воде.

Следует отметить, что обработка в цинкаторе натрия имеет и ряд существенных недостатков. Сцепление гальванических покрытий при этом способе не является достаточно высоким и покрытия, полученные этим методом, лучше использовать для деталей, эксплуатируемых в легких и средних условиях, не подвергающихся пайке, температурным перепадам и т. п.

Осаждение по электролитически нанесенным Zn и Ni . Вместо покрытий, получаемых погружением, слой Zn наносят гальваническим способом. При этом добиваются повышения прочности сцепления покрытия с металлом детали в результате проведения последующей кратковременной термообработки. Этот способ пригоден для Al и различных его сплавов, кроме сплавов, содержащих $Mg \geq 30\%$. После тщательной очистки на детали из Al или его сплавов осаждают очень тонкий слой Zn из цианистого электролита специального состава (г/л):

$ZnCl_2$	0,5
$NaCN$	0,5
$NaOH$	10,5

Режим осаждения: $t = 18 \pm 20^\circ C$; $i_K = 0,6$ А/дм²; $\tau = 20$ с.

Затем на деталь осаждают тонкий слой латуни и никелируют в обычном сернокислом никелевом электролите до необходимой толщины покрытия, далее подвергают кратковременной термической обработке при $220—230^\circ C$.

Рекомендуется проводить также термообработку после нанесения не только Ni , но также и Cr , что улучшает прочность сцепления.

Разработан другой способ, пригодный для всех алюминиевых сплавов, при котором образуется промежуточный слой Ni , обладающий очень высоким сцеплением с основой. При этом способе деталь погружают на 10—15 с в 10 %-ный раствор NH_4F , промывают и затем погружают в раствор следующего состава (об. доля, %):

HCl (плотностью 1,19 г/см ³)	50
H_2O	50
$MnSO_4 \cdot 2H_2O$, г/л	9—10

Для травления деталей из отливок применяют раствор смеси концентри-

рованных HNO_3 и HF (3 : 1 об. частей).

После указанной подготовки осаждают тонкий слой никеля в электролите следующего состава (г/л):

$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	140
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	75
NH_4Cl	15
H_2SO_4	15

Режим осаждения: $t = 50 \pm 60^\circ C$; $i_K = 1,5$ А/дм²; $\tau = 10$ мин.

Осажденный Ni подвергают термообработке до температуры $190^\circ C$, в результате чего часть Ni диффундирует в Al . Имеются рекомендации по применению при термообработке более высоких температур. Термообработка при $200—280^\circ C$ в течение 0,5—1 ч обеспечивает хорошее сцепление никелевого покрытия с основой. Такой режим обработки применим только для сплавов, не упрочняемых термической обработкой. На осажденный слой Ni могут быть нанесены другие покрытия.

Термообработку в печи следует проводить на стальных противнях, так как при обработке на противнях из алюминия образуются вздутия и пузыри на покрытии. Если после термообработки поверхность Ni матовая, то это означает, что обработка проведена правильно.

При термообработке на поверхности Ni образуется окисная пленка, которую удаляют при последующем нанесении покрытий. Лучшим способом удаления пленки и активации поверхности Ni перед нанесением гальванических покрытий и особенно Cr является активация в HCl и непродолжительная (2—5 с) анодная обработка в 20—25 %-ном растворе H_2SO_4 при $i_a = 7 \pm 15$ А/дм².

Применение последующей термообработки обеспечивает хорошее сцепление Ni с основой. Такая технология может быть использована для осаждения различных покрытий на деталях, находящихся в более жестких эксплуатационных условиях, а также применена для последующей пайки.

Осаждение по окисной пленке. Особенность анодного окисления — возможность непосредственного осаждения гальванических покрытий на окисную пленку без проведения последующей обработки. Окисные пленки, полученные при анодном окислении в H_3PO_4 , тонкие,

отличаются равномерной пористостью с определенными размерами пор, и прочно сцеплены с алюминиевой поверхностью. При нанесении гальванических покрытий металл осаждается внутри пор пленки, поэтому электроосажденный слой отличается хорошим сцеплением с основой. Оксидные пленки защищают Al от коррозии в электролите в процессе покрытия, а также значительно сдвигают в положительную сторону его потенциал, предотвращая возможность контактного вытеснения.

Для получения окисных пленок, служащих подслоем под гальванические покрытия, во многих случаях достаточным является формирующее напряжение 12 В. Температура электролита также влияет на пористость пленки. С повышением температуры растет пористость вследствие увеличения скорости химического растворения пленки. Анодное окисление деталей из Al и его сплавов проводят в растворе следующего состава (г/л)

H ₂ PO ₄	350—670
--	---------

Режим анодного окисления: $t = 15-30^\circ\text{C}$; $i_a = 1-2 \text{ А/дм}^2$; напряжение 12—18 В; $\tau = 5-15 \text{ мин}$; катоды свинцовые; толщина образующейся анодной пленки до 3 мкм.

Гальванические покрытия следует наносить на анодно-окисленную поверхность при повышенной плотности тока, а загрузку деталей в ванну проводить под током из-за высокой растворимости пленки в электролитах. Стойкость оксидной пленки особенно низка в концентрированных щелочных и цианистых электролитах, в связи с чем наносить на нее гальванические покрытия в этих электролитах не рекомендуется. На окисленную поверхность сначала осаждается металлическое покрытие темного цвета, которое в дальнейшем приобретает цвет обычного металла.

На анодно-окисленную поверхность лучше всего осаждается Ni из обычных электролитов, а также Cu из пирофосфатных электролитов. Осаждать никелевое покрытие на Al и его сплавы необходимо при повышенной начальной плотности тока, снижая ее через 5—6 мин электролиза до нормальной величины. Величину pH электролита рекомендуется поддерживать в пределах 5,6—5,8.

При непосредственном осаждении Cu на анодную пленку применяют пирофосфатный электролит меднения с pH 7—8,5. Известен способ изготовления автомобильных бамперов из алюминия, при котором нанесение Ni и Cu производят на пленку, полученную анодным окислением в H₂PO₄, без промежуточного осаждения меди, которая увеличивает коррозию Al. При этом оптимальные результаты получают в электролите следующего состава (об. доля, %):

H ₂ PO ₄ (85 %-ная)	15
H ₂ SO ₄ (96 %-ная)	15

Режим анодного окисления: $t = 37^\circ\text{C}$; $i_a = 3,2 \text{ А/дм}^2$; напряжение 13 В; $\tau = 5 \text{ мин}$.

В этом случае оказывается излечимым (а иногда и вредным) травление перед анодным окислением или активирование после обыкновенной очистки. Важно, чтобы поверхность анодного покрытия перед гальванической обработкой хорошо смачивалась электролитом для никелирования.

Практически при различных видах предварительной анодной обработки получены достаточно удовлетворительные гальванические покрытия. Следует также отметить, что хорошие результаты получают при нанесении слоя Ni на предварительно электрополированную или обработанную в растворах для химического полирования поверхность перед анодным окислением. Рекомендуется для удаления шлама после химического полирования погружать детали в концентрированную HNO₃.

Коррозионными испытаниями установлено, что нанесением двойного никелевого слоя и хромового покрытия без трещин значительно повышают антикоррозионную защиту Al и его сплавов.

Осаждение без применения промежуточного слоя. Вполне удовлетворительные результаты получают при цинковании в обычных цианистых электролитах, а также в цианистых электролитах для блестящего цинкования, в которых следует применять минимально допустимую концентрацию NaOH. Весьма важную роль играет режим цинкования и особенно катодная плотность тока, которая не должна превышать 0,8 А/дм². Только в конце

электролиза плотность тока можно увеличить на очень непродолжительное время для получения блестящего покрытия. При повышении начальной плотности тока сверх 0,8 А/дм² на поверхности деталей очень быстро появляются вздутия и пузыри. Перед цинкованием детали из Al и его сплавов очищают обычным образом и обрабатывают в растворе следующего состава (мл/л):

HCl (концентрированная)	20—25
HF (концентрированная)	10—15

Режим обработки: $t = 18-25^\circ\text{C}$; продолжительность обработки деталей из Al 20—30 с, из дюралюминия и силумина 30—60 с.

После обработки детали следует тщательно промыть.

Недостатки покрытий, получаемых из цианистых электролитов, следующие: небольшая термостойкость; при 225—250 °C начинается образование вздутий и пузырей и отслаивание покрытия от поверхности деталей; трудность получения качественных цинковых покрытий толщиной более 20—30 мкм.

Для непосредственного никелирования деталей из Al применяют следующий состав электролита (г/л):

NiSO ₄ ·7H ₂ O	150—230
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	42—60
H ₂ BO ₃	23—28
NaF	1,5—2,5
K ₂ SO ₄	1—3

Режим осаждения: $t = 40-50^\circ\text{C}$; $i_k = 1-2 \text{ А/дм}^2$.

Для этих же целей используют также электролит следующего состава (г/л):

NiSO ₄ ·7H ₂ O	100
NaCl	15
(NH ₄) ₂ SO ₄	30
CH ₃ COONa	10

Режим осаждения: $t = 18-25^\circ\text{C}$; $i_k = 1-3 \text{ А/дм}^2$.

Для улучшения сцепления осадков с покрываемым металлом детали перед покрытием обрабатывают в смеси HNO₃ и HF (3:1). Это позволяет получать качественные слои Ni на Al и его сплавах толщиной до 30 мкм. Раствор, содержащий HF, может быть замещен менее вредным и агрессивным раствором, содержащим 150—200 г/л H₂PO₄ и 35—45 г/л NaF.

Во всех случаях непосредственного никелирования деталей из Al и его сплавов необходима последующая

термообработка при 220 °C в течение 0,5—1,5 ч.

Можно применять указанный процесс непосредственного никелирования для защитного паяемого покрытия деталей, работающих в легких и средних условиях эксплуатации. Непосредственное твердое хромирование алюминиевых цилиндров проводят после обезжиривания в щелочном растворе, промывки и травления в течение 1—2 мин в смеси HF с HNO₃ с молярным отношением 1:5 при температуре 12—14 °C, которую поддерживают при помощи водяного охлаждения. Предварительно нагретые детали после тщательной промывки загружают в стандартный электролит для хромирования при 60 ± 2 °C. Плотность тока изменяется в процессе электролиза следующим образом, А/дм²: 5 мин — 35—45; 5 мин — 45—65; остальное время — 65—80.

После нанесения Cr детали промывают и оставляют на 1—1,5 ч в чистой воде для удаления кислоты, оставшейся в порах покрытия.

Существует способ непосредственного осаждения Cr на алюминиевые сплавы АК4 и ВД17, которые перед хромированием подвергали обычной обработке в щелочи и осветлению в растворе HNO₃. Осаждение Cr проводилось в стандартном хромовом электролите при 30 °C и плотности тока 50 А/дм² в ультразвуковом поле. Частота ультразвука 22 кГц, интенсивность 5—6 Вт/см², что обеспечивало возникновение интенсивной кавитации в электролите. Ультразвуковые колебания возбуждались сразу же после загрузки деталей в электролит и продолжались 1—2 мин, в результате чего разрушалась окисная пленка. Ее повторное образование на поверхности Al исключалось вследствие продолжающегося ультразвукового воздействия; вследствие прекращения после включения тока через 1—2 мин. По этому способу осаждались хромовые покрытия толщиной 30—40 мкм, обладающие высокой прочностью сцепления с основой.

Электроосаждение Cr в ультразвуковом поле позволяет значительно увеличить применяемые при электролизе плотности тока, повысить твердость и износостойкость хромовых покрытий. При этом наибольший эффект

фект можно получить при осаждении покрытий из тетраокроматных электролитов.

Осаждение для защитно-декоративных целей и придания функциональных свойств. Для защиты Al от коррозии и предохранения от засаждения резьбы применяют цинкование и гальмирование. При нанесении Zn толщиной до 20—30 мкм цинкование проводят в цинковых электролитах после обработки в растворе, содержащем HCl и HF. Более толстые слои осаждаются в кислых электролитах по цинковому подслою, нанесенному погружением в цинковые растворы. Каждый необходимой толщины наносят на диск Zn или Cd, осажденных контактным методом.

В качестве защитно-декоративных покрытий на деталях из Al и его сплавов применяют многослойные покрытия Cu—Ni—Cr, Ni—Cu—Ni—Cr, а также Ni—Cr. Суммарная толщина слоев покрытий 50 мкм обеспечивает защиту от коррозии в жестких условиях эксплуатации; для легких условий эксплуатации можно ограничиться толщиной Ni 10 мкм с последующим хромированием.

Для пайки Al и его сплавов рекомендуются никелевые подслои, полученные с применением последующей термообработки, а также медные покрытия, осаждаемые на окисную пленку из пирофосфатных электролитов. По медному и никелевому подслою могут быть нанесены соответствующим образом также другие покрытия, рекомендуемые для улучшения паяемости.

Для повышения износостойкости деталей из Al их хромируют после предварительного травления в смеси HNO₃ и HF, а также по слою контактно-осажденного Zn.

Серебрение Al осуществляют обычно для снижения переходного сопротивления контактных деталей. Серебро осаждают непосредственно на Al и его сплавы, а также на подслои Cu или Ni.

При непосредственном нанесении Ag на Al сначала проводят предварительное серебрение последовательно в двух электролитах с большой концентрацией KCN и незначительным содержанием Ag. Предварительное серебре-

ние лучше проводить после цинкатной обработки.

Электролиты для предварительного серебрения имеют следующий состав (г/л):

1. AgCN	1—1,2
NaCN	90—95
2. AgCN	5,3—5,5
NaCN	67,5—70

Режим осаждения: температура обоих электролитов 18—25 °C; $i_K = 1,5 \pm 2,5$ А/дм²; $t = 10$ с.

После предварительного покрытия на детали наносят слой Ag нужной толщины в обычных электролитах. Однако непосредственное осаждение Ag на Al применяют очень редко, так как практика показывает, что качество таких покрытий со временем ухудшается: уменьшается прочность сцепления покрытий с основным металлом (Al) и возможно их отслаивание.

Для серебрения деталей из Al и его сплавов хорошие результаты получаются при применении технологии никелирования с последующей термообработкой или анодного окисления с последующим никелированием или меднением в пирофосфатных электролитах (см. с. 96). Оптимальные результаты во всех случаях могут быть получены при осаждении Ag из бесцианистых электролитов, например, из трилонатных и сульфатных электролитов серебрения.

Рекомендуемая толщина серебряных или комбинированных Cu—Ag, Ni—Ag покрытий составляет для тяжелых условий эксплуатации 30 мкм, для средних условий 25 мкм, для легких условий 12 мкм. Минимальная толщина серебряных покрытий на отдельных участках детали должна составлять не менее 50 % средней толщины. При нанесении комбинированного покрытия из Cu или Ni и Ag толщина подслоя может составлять 2/3 общей толщины покрытия на Al. При необходимости Au и Rh наносят на подслои Cu, Ni и реже на слой Ag.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ МАГНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Для защиты магниевых сплавов от коррозии широко применяется оксидирование. Гальванические покрытия на Mg и его сплавы наносят не только для защитных и защитно-декоратив-

ных целей, но и для повышения износостойкости, облегчения процесса пайки, уменьшения переходного электросопротивления и др. При нанесении гальванических покрытий на Mg и его сплавы приходится преодолевать трудности, подобные встречающимся при покрытиях Al (наличие на поверхности Mg легко образующейся окисной пленки, резко отрицательный электродный потенциал Mg). Существует несколько методов подготовки Mg к нанесению гальванических покрытий. Но практическое применение нашел только метод покрытия Zn путем погружения.

Химические свойства Mg отличны от свойств Al, и поэтому для осаждения Zn путем погружения для него не пригодны цинкятные растворы.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка подразделяется на обычную и специальную. Обычная подготовка деталей включает обезжиривание в органическом растворителе, обезжиривание химическое и электрохимическое, травление и активацию.

Своеобразие подготовки Mg и его сплавов к нанесению гальванических покрытий состоит в необходимости более тщательного удаления с его поверхности окисной пленки.

Специальная подготовка включает операцию осаждения Zn путем погружения.

Обезжиривание в органическом растворителе деталей из Mg и его сплавов проводится так же, как и деталей из цинковых сплавов. Химическое обезжиривание проводят в растворе следующего состава (г/л):

Na ₂ PO ₄ · 12H ₂ O	40—60
NaOH	10—15
стекло натриевое жидкое	20—30

Режим обезжиривания: $t = 70—90$ °C; $i_K = 2 \pm 4$ А/дм²; $t = 3 \pm 10$ мин.

Электрохимическое обезжиривание деталей после механической обработки и обработки в органических растворителях проводят на катоде в растворе следующего состава (г/л):

NaOH	16—18
Na ₂ CO ₃	25—28

Режим обезжиривания: $t = 18 \pm 25$ °C; $i_K = 2 \pm 4$ А/дм²; $t = 3 \pm 10$ мин.

Травление литых и деформированных сплавов проводят в различных

по составу травильных растворов. Для литых сплавов рекомендуются один из следующих растворов (г/л):

1. CrO ₃	275—285
HNO ₃	20—30
HF	8—10
2. H ₂ PO ₄	85 %

Режим травления: $t = 18 \pm 25$ °C; $t = 0,25 \pm 3$ мин.

Для деформируемых магниевых сплавов применяют раствор следующего состава (г/л):

CrO ₃	175—185
NaNO ₂	28—32

Режим травления: $t = 18 \pm 25$ °C; $t = 0,5 \pm 3$ мин.

Этот раствор также применяют для удаления пригоревших графитовых смазок с горячекованных деталей из листового Mg, для очистки деталей из деформированного Mg перед сваркой и последующего удаления окалины. Для травления деталей, не допускающих даже незначительного искажения поверхностного профиля, используют раствор, содержащий 180 г/л CrO₃. Продолжительность обработки при обычной температуре 2—10 мин.

Активацию поверхности Mg перед нанесением Zn проводят в растворе следующего состава (г/л):

H ₂ PO ₄	199—195
KHF ₂	95—105

Режим активации: $t = 18 \pm 25$ °C; $t = 0,5 \pm 20$ мин.

Для контактного цинкования применяют раствор следующего состава (г/л):

ZnSO ₄ · 7H ₂ O	40—50
Na ₂ P ₂ O ₇ · 10H ₂ O	200—220
Na ₂ CO ₃	1—6
KF	1—8

Режим осаждения: $t = 18 \pm 25$ °C; при 10,2—11,6 % Zn в растворе, содержащем 1,5 % Mg, $t = 0,5 \pm 4$ мин.

Гальваническое осаждение покрытий. После осаждения слоя Zn на детали из Mg и тщательной промывки проводят предварительное меднение.

Медный подслоя наносят толщиной 3—6 мкм, на который можно осаждают другие металлы.

Лучшие результаты при осаждении предварительного слоя Cu можно получить, применяя реверсивный ток. При этом первые 0,5—1 мин электролиз ведут постоянным током, а затем

реверсивным током при катоде-м перерыве, равном 15 с, и анодом, равном 5 с.

При осаждении осадков Cu применяются различные медные цианистые электролиты для осаждения как матовых, так и блестящих покрытий. Для осаждения толстых осадков Cu рекомендуются пирофосфатные электролиты, в которые добавляется 30 г/л KF для улучшения сцепления с основой.

При последующем никелировании применяют обычные никелевые электролиты для осаждения как матового, так и блестящего покрытия.

Предварительно осажденный слой Cu должен быть не менее 7—8 мкм, чтобы исключить разбеднение Mg через поры медного покрытия. При никелировании профилированных деталей следует осаждать слой Ni такой толщины, чтобы на участках с минимальной толщиной слоя никелевое покрытие было бы не тоньше слоя, указанного для Cu.

Цинковые, кадмиевые, латунные покрытия на Mg можно наносить непосредственно на слой Cu, полученный в ванне предварительного меднения. При серебрении необходимо предварительно осаждать слой Cu в сернокислом или пирофосфатном электролите до соответствующей толщины. Хромовые покрытия большой толщины (100—150 мкм), отличающиеся прочным сцеплением, можно осаждать на медный подслоя из цианистой ванны толщиной 1—3 мкм. Режим хромирования устанавливается в соответствии с назначением деталей и условиями их эксплуатации. При необходимости осаждают износостойкие и защитные (молочные, покрытия для одновременной защиты от коррозии и механического изнашивания, а также комбинированные защитно-декоративные покрытия — молочные и блестящие. При этом режимы хромирования такие же, как и при покрытии деталей из других металлов. При повышенной температуре Cu в хромовых электролитах интенсивно растворяется, поэтому перед осаждением молочного Cr наносят слой Cr толщиной 1,5—2 мкм (при $t = 40^\circ\text{C}$ и $i_k = 10 \text{ А/дм}^2$), после чего детали хромируют в ванне при температуре 70°C .

Для декоративного трехслойного покрытия (Cu—Ni—Cr) в зависимости

от условий эксплуатации деталей рекомендуются следующие минимальные толщины покрытий (мкм): внутри помещений 18—25; легкие атмосферные условия 30; средние атмосферные условия 35; жесткие атмосферные условия 50.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ

Легкий, высокопрочный Ti и его сплавы отличаются высокой коррозионной устойчивостью. Нанесение на их поверхность других металлов осуществляется главным образом в функциональных целях. К отрицательным свойствам Ti относятся высокий коэффициент трения, низкая теплопроводность и электропроводность, высокая паяемость, интенсивное взаимодействие при высокой температуре с кислородом, азотом, углеродом, галогенами и серой.

Хромирование Ti и его сплавов повышает их износ- и термостойкость. Для увеличения электропроводности и обеспечения возможности пайки на Ti осаждают Cu или Ni, а затем в случае необходимости наносят другие покрытия.

Электроосаждение металлов на Ti и его сплавы сопряжено со значительными трудностями, так как его поверхность покрыта трудно удаляемой окисной пленкой, которая чрезвычайно легко восстанавливается на воздухе, в воде и различных растворах. В процессе электролитического осаждения металла в Ti легко диффундирует водород. Скапливаясь на границе титан — покрытие, он может вызвать отслаивание последнего. Продиффундировавший в Ti водород значительно ухудшает его механические свойства.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка подразделяется на обычную и специальную. Обычная подготовка состоит из обезжиривания в органическом растворителе, гидропескоструйной обработки или обработки корундовым порошком и обезжиривания. Специальная обработка включает операции активации и нанесения пленки или подслоя металла на поверхность детали, на которую осаждают гальваническое покрытие. Гидропескоструйную обработку проводят кварцевым песком или корундовым порошком при давлении воздуха

0,3—0,5 МПа. Зернистость кварцевого песка или корундового порошка не более 0,3 мм. Вместо гидропескоструйной обработки проводят обработку корундовым порошком той же грануляции. Время обработки детали определяется из расчета обработки поверхности площадью 1 дм^2 в течение 1—2 мин при массовом расходе порошка 3—5 кг/мин.

Активацию деталей из титановых сплавов BT22, BT6, OT4 и других проводят в растворе следующего состава (об. доля, %):

HF (40 %-ная)	15
HNO ₃ (плотность 1,35 г/см ³)	60
вода	25

Режим активации: $t = 18 \pm 25^\circ\text{C}$; $t = 1,5 \pm 2,0$ мин в зависимости от размеров и конфигурации деталей.

Активацию деталей из титановым сплавом BT3-1 проводят в растворе следующего состава (об. доля, %):

HF (40 %-ная)	25
HNO ₃ (плотность 1,35 г/см ³)	40
вода	35

Режим активации: $t = 18 \pm 25^\circ\text{C}$; $t = 1,0 \pm 1,5$ мин в зависимости от размеров и конфигурации деталей.

Поверхность деталей после активации должна быть равномерно протравлена, иметь светло-серый однородный цвет.

Нанесение на поверхность деталей после активации гидридной пленки проводят в одном из растворов следующего состава (мл):

1. H ₂ SO ₄ (плотность 1,84 г/см ³)	650
HCl (плотность 1,19 г/см ³)	350
2. H ₂ SO ₄ (плотность 1,84 г/см ³)	250
HCl (плотность 1,19 г/см ³)	750

Режим обработки: $t = 18 \pm 25^\circ\text{C}$; $t = 60 \pm 90$ мин. Раствор № 1 применяют для гидридной обработки сплавов BT3-1, BT22, BT9 и др., а раствор № 2 — для гидридной обработки сплавов OT4, OT4-1, BT3-1, BT5-1 и др.

Нанесение на поверхность деталей после активации хроматной пленки проводят в растворе следующего состава (г/л):

Na ₂ Cr ₂ O ₇	250
HF (40 %-ная)	50 мл/л
стекло плавное жидкое	5

Режим обработки: $t = 18 \pm 30^\circ\text{C}$ в зависимости от марки сплава; продолжительность 3—5 мин в зависимости от марки сплава.

Осаждение на поверхность деталей после активации подслоя Zn осуществляют в растворе следующего состава (мл):

ZnCl ₂	44—47
HF (40 %-ная)	32—35
этиленгликоль	295—305
вода	44—47

Режим обработки: $t = 18 \pm 25^\circ\text{C}$; продолжительность 1,0—1,5 мин (до полного покрытия Ti пленкой).

Осаждение на поверхность деталей после активации подслоя Ni осуществляют в растворе следующего состава (г/л):

NiCl ₂	20—30
KF	2,5—10
глицерол (аминокислая кислота)	25—35

Режим обработки: $t = 18 \pm 25^\circ\text{C}$; $t = 5$ мин; pH 2,8—3,2 (доводится H₂SO₄ или HCl).

Гальваническое осаждение покрытий. Электролитическое осаждение Cu на детали из титановых сплавов проводится в цианистом, пирофосфатном или кислом электролитах после нанесения гидридной пленки и промывки в проточной холодной воде. Детали помещают на подвесках в электролиты под током при плотности его в 1,5—2 раза выше номинальной. Через 1—2 мин устанавливается номинальная плотность тока.

Электролитическое осаждение Ag на детали из титановых сплавов проводится после нанесения гидридной пленки и промывки в проточной холодной воде в электролитах предварительного и окончательного серебрения.

Серебрение деталей из титановых сплавов, например, таких как BT3-1, BT9, работающих при $t > 300^\circ\text{C}$, проводят после нанесения гидридной пленки или подслоя Ni и промывки в холодной проточной воде по следующей схеме: химическое или гальваническое никелирование, промывка в холодной проточной воде, меднение, промывка в холодной проточной воде, серебрение в электролитах предварительного и окончательного серебрения.

Химическое никелирование осуществляется после нанесения гидридной пленки или подслоя Ni и промывки в холодной проточной воде в обычных электролитах химического никелирования. Электролитическое никелирование деталей из титановых сплавов проводят после нанесения подслоя Ni

и промывают в холодной проточной воде в обычных электролитах иницирования. Д. Гали заворачивают в электролит при катодной плотности тока в 1,5—2 раза выше номинальной. Через 1—2 мин устанавливают номинальную плотность тока.

Для повышения прочности сцепления покрытия с основой после нанесения покрытий проводят термическую обработку при 350—400 °C в течение 1—3 ч. Термообработку рекомендуют проводить в вакууме при остаточном давлении 0,133 Па или в электропечи.

Хромирование деталей из титановых сплавов проводят по гидридной пленке, хроматной пленке или подслою металла (Zn и др.). Процесс хромирования титановых сплавов по гидридной пленке осуществляется по следующей схеме: молочное хромирование, термодиффузионный вакуумный отжиг, гидропескоструйная обработка, активирование молочного хрома, осаждение износостойкого хрома.

Молочное хромирование титановых сплавов проводят в стандартном электролите при 70—80 °C, $i_k = 30 \div 40$ А/дм², в течение 1 ч. После прогрева деталей в электролите на 3—4 мин устанавливают $i_k = 100 \div 150$ А/дм² для наружных поверхностей или $i_k = 150 \div 300$ А/дм² для внутренних поверхностей, после чего плотность тока постепенно снижают до 30—40 А/дм².

Термодиффузионный вакуумный отжиг проводят для улучшения прочности сцепления Cr с основой при 800 ± 50 °C в вакууме (остаточное давление не выше 0,133 Па) в течение 1 ч. Активацию молочного хрома осуществляют после гидропескоструйной обработки или обработки корундовым порошком на аноде в электролите хромирования при 35 °C, $i_a = 30$ А/дм² в течение 30—60 с. Износостойкое хромирование проводится в стандартном ($t = 35 \div 60$ °C, $i_k = 60$ А/дм²) или в саморегулирующемся ($t = 55 \div 60$ °C, $i_k = 60 \div 90$ А/дм²) электролите. В начальный момент устанавливаем $i_k = 10$ А/дм² и затем в течение 5—10 мин повышают плотность тока до номинальной.

Хромирование титановых сплавов по указанной схеме имеет ряд существенных недостатков: ограничена номенклатура деталей, для которых воз-

можно применение этого способа (газостойкие детали при производстве герметизирующего и вакуумного отжига деформируются); необходимо соблюдение установки деталей из высокопрочных титановых сплавов; трудоемкая и энергоемкая технология обработки по этой схеме, недостаточная прочность сцепления хрома с основой.

Рекомендуется наносить слой Cr после анодной обработки в растворе, содержащем $ZnF_2 \cdot 4H_2O$ и этиленгликоль при $i_k = 5$ А/дм², напряжении 18 В и $t = 18 \div 25$ °C. При указанной обработке на Ti образуется пористый окисный слой, служащий хорошим подслоем для нанесения гальванических покрытий и в первую очередь Cr.

Хром можно также наносить в обычных электролитах по слою Zn, осажденного в результате погружения в раствор с этиленгликолем ранее приведенного состава. При этом осаждение следует вести по схеме: 1) хромирование в стандартном электролите при 18—20 °C, $i_k = 10$ А/дм² и продолжительности 1—2 мин; 2) хромирование в том же электролите при 50—55 °C и $i_k = 30 \div 55$ А/дм².

На осажденный слой Cr можно наносить другие металлы по технологической схеме: травление в концентрированной или разбавленной HCl (1:1) до потемнения поверхности и никелирование в электролите следующего состава (г/л):

$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	250—500
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	40—60
H_2BO_3	30—55

Режим осаждения: $t = 50 \div 60$ °C; $i_k = 3 \div 5$ А/дм²; pH 5—5,5.

Известен способ хромирования, обеспечивающий хорошую прочность сцепления Cr с основой. Обработка проводится в двух электролитах. Состав первого электролита следующий (г/л):

CrO_3	250—500
HF	3—15
NH_4F	5—15
H_2SiF_6	5—15

Режим осаждения: $t = 18 \div 25$ °C; выдержка без тока 1 мин; $i_k = 26 \div 45$ А/дм²; $t = 15 \div 20$ мин; аноды из сплава Ti—Ru.

После промывки в холодной воде детали заворачивают в стандартный электролит хромирования и осаждают Cr при необходимом режиме.

Можно хромировать титановые сплавы ВТ1-1 и ВТ22 при пачежени ультразвука. Ультразвуковая обработка при определенной интенсивности и частоте разрушает гидридную пленку на Ti и его сплавов, обеспечивая в электролите хромирования и предохраняет их от окисления в электролите. Хромирование проводится по схеме: обработка в электролите хромирования в течение 2 мин без тока при интенсивности ультразвука 4—5 Вт/см² при частоте 20—44 кГц; электроосаждение Cr при $i_k = 200 \div 220$ А/дм², $t = 60$ °C и интенсивности ультразвука 4—5 Вт/см² в течение 3—5 мин (при $i_k < 200$ А/дм² Cr не осаждается); электроосаждение Cr до заданной толщины при $i_k = 120 \div 100$ А/дм² и интенсивности ультразвука 2—3 Вт/см².

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

На детали из меди и ее сплавов гальванические покрытия наносят для обеспечения пайки обычными методами (Ag, Sn, Ni), уменьшения переходного сопротивления электроконтактов (Ag, Au), сохранения постоянства электрических параметров (Pd, Rh), устранения контактной коррозии (Zn, Cd), повышения износостойкости (Cr, химический Ni), защиты от коррозии (Cr, Ni, черный Cr, химический Ni) и т. д.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка включает следующие операции: обезжиривание в органическом растворителе, обезжиривание химическое или электрохимическое, травление и активацию.

Обезжиривание в органическом растворителе деталей из Cu и ее сплавов проводится так же, как и деталей из цинковых сплавов.

Химическое и электрохимическое обезжиривание осуществляют в фосфатно-щелочных растворах с пониженной концентрацией $Na_2PO_4 \cdot 12H_2O$ и NaOH или в растворе следующего состава (г/л):

$Na_2PO_4 \cdot 12H_2O$	20—30
Na_2CO_3	20—30
NaCN	15—25

Режим обезжиривания: $t = 30 \div 40$ °C; $i_k = 1 \div 3$ А/дм²; $t < 10$ мин. Химическое обезжиривание проводят при $t = 30 \div 40$ °C.

Травление деталей проводят при необходимости в растворе следующего состава (мл):

HNO ₃ (плотность 1,4 г/см ³)	500
H ₂ SO ₄ (плотность 1,8 г/см ³)	500
HCl (плотность 1,19 г/см ³)	2
или NaCN	5—10 г

Режим травления: $t = 18 \div 25$ °C; $t < 1$ мин.

Активацию деталей, на которые осаждают покрытия в крепких электролитах, проводят в растворе следующего состава (г/л):

H ₂ SO ₄	50—100
или HCl	50—100

Режим активации: $t = 18 \div 25$ °C; $t = 1 \div 2$ мин.

Активацию деталей, на которые осаждают покрытия в цианистых электролитах, проводят в растворе следующего состава (г/л)

NaCN	50—100
------	--------

Режим активации: $t = 18 \div 25$ °C; $t = 10$ с.

Гальваническое осаждение покрытий. Осаждение гальванических покрытий на детали из меди и ее сплавов проводится, как правило, по подслою (Cu, Ni, Ag). Осаждение Ni, Sn проводится по предварительно омедненной поверхности. Подслой наносят из цианистого медного электролита толщиной 3—6 мкм. Для бронз предварительное меднение в цианистом электролите обязательно. Защитно-декоративное и защитное хромирование осуществляется по подслою Ni, а износостойкое хромирование — без подслоя. Шликование и кадмирование деталей из Cu и ее сплавов проводится также без подслоя.

Золотение металлов осуществляется по подслою Ag или Ni, а родирование, палладирование и серебрение проводится по подслою Ag. Осаждение гальванических покрытий на детали из Cu и ее сплавов проводится в электролитах и при режимах, указанных в гл. 12.

и промывают в холодной проточной воде в обычных электрических никелировальных ваннах задерживают в электролите при плотности тока в 1,5—2 раза выше номинальной. Через 1—2 мин устанавливают номинальную плотность тока.

Для повышения прочности сцепления покрытия с основой после нанесения покрытия проводят термическую обработку при 350—400 °С в течение 1—3 ч. Термообработку рекомендуется проводить в вакууме при остаточном давлении 0,133 Па или в электролите.

Хромирование деталей из титановых сплавов проводят по гидридной пленке, хроматной пленке или подслою металла (Zn и др.). Процесс хромирования титановых сплавов по гидридной пленке осуществляется по следующей схеме: молочно-хромовое, термодиффузионный вакуумный отжиг, гидропескоструйная обработка, активирование молочного хрома, осаждение износостойкого хрома.

Молочное хромирование титановых сплавов проводят в стандартном электролите при 70—80 °С, $i_k = 30 \pm 40$ А/дм², в течение 1 ч. После прогрева деталей в электролите на 3—4 мин устанавливают $i_k = 100 \pm 150$ А/дм² для наружных поверхностей или $i_k = 150 \pm 300$ А/дм² для внутренних поверхностей, после чего плотность тока постепенно снижают до 30—40 А/дм².

Термодиффузионный вакуумный отжиг проводят для улучшения прочности сцепления Cr с основой при 800 ± 50 °С в вакууме (остаточное давление не выше 0,133 Па) в течение 1 ч. Активацию молочного хрома осуществляют после гидропескоструйной обработки или обработки корундовым порошком на аноде в электролите хромирования при 50 °С, $i_k = 30$ А/дм² в течение 30—60 с. Износостойкое хромирование проводят в стандартном ($t = 35 \pm 60$ °С, $i_k = 60$ А/дм²) или в саморегулирующемся ($t = 55 \pm 60$ °С, $i_k = 60 \pm 90$ А/дм²) электролите. В начальный момент устанавливают $i_k = 10$ А/дм² и затем в течение 5—10 мин повышают плотность тока до номинальной.

Хромирование титановых сплавов по указанной схеме имеет ряд существенных недостатков: ограничена номенклатура деталей, для которых воз-

можно применение этого способа (никель-кобальтовые детали и др. промывают, термодиффузионно и вакуумно отжигают деформируются); ограничено соотношение размеров деталей из титановых сплавов; трудоемкая и дорогостоящая технология обработки по этой схеме, недостаточна прочность сцепления хрома с основой.

Рекомендуется нанести слой Cr после анодной обработки в растворе, содержащем $ZnF_2 \cdot 4H_2O$ и этилендиамин при $i_k = 5$ А/дм², напряжении 18 В и $t = 18 \pm 25$ °С. При указанной обработке на Ti образуется пористый окисный слой, служащий хорошим подслоем для нанесения гальванических покрытий и в первую очередь Cr.

Хром можно также нанести в обычных электролитах по слою Zn, осажденного в результате погружения в раствор с этилендиаминем ранее приведенного состава. При этом осаждение следует вести по схеме: 1) хромирование в стандартном электролите при 18—20 °С, $i_k = 10$ А/дм² и продолжительность 1—2 мин; 2) хромирование в том же электролите при 50—55 °С и $i_k = 30 \pm 55$ А/дм².

На осажденный слой Cr можно нанести другие металлы по технологической схеме: травление в концентрированной или разбавленной HCl (1:1) до потемнения поверхности и никелирование в электролите следующего состава (г/л):

$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	250—300
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	40—50
H_2BO_3	30—50

Режим осаждения: $t = 18 \pm 25$ °С; $i_k = 3 \pm 5$ А/дм²; $PH = 5 \pm 0,5$.

Известен способ хромирования, обеспечивающий хорошую прочность сцепления Cr с основой. Обработка проводится в двух электролитах. Состав первого электролита следующий (г/л):

CrO_3	250—300
H_2SO_4	3—15
NH_4NO_3	5—15
H_2SiF_6	5—15

Режим осаждения: $t = 18 \pm 25$ °С; выдержка без тока 1 мин; $i_k = 20 \pm 15$ А/дм²; $t = 15 \pm 20$ мин; аноды из сплава Ti—Ru.

После промывки в холодной воде детали задерживают в стандартном электролите хромирования и осаждают Cr при необходимом режиме.

Можно хромировать титановые сплавы ВТ1-1, ВТ12 при нанесении ультразвука. Ультразвуковую обработку при определенной интенсивности и частоте разрушает гидридную пленку на Ti и его сплавах непосредственно в электролите хромирования и предотвращает их окисление в электролите. Хромирование проводится по схеме: обработка в электролите хромирования в течение 2 мин без тока при интенсивности ультразвука 4—5 Вт/см² при частоте 20—44 кГц; электроосаждение Cr при $i_k = 200 \pm 250$ А/дм², $t = 60$ °С и интенсивности ультразвука 4—5 Вт/см² в течение 3—5 мин (при $i_k < 200$ А/дм² Cr не осаждается); электроосаждение Cr до заданной толщины при $i_k = 120 \pm 100$ А/дм² и интенсивности ультразвука 2—3 Вт/см².

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

На детали из меди и ее сплавов гальванические покрытия наносят для обеспечения пайки обычными методами (Ag, Sn, Ni), уменьшения переходного сопротивления электроконтактов (Ag, Au), сохранения постоянства электрических параметров (Pd, Rh), устранения контактной коррозии (Zn, Cd), повышения износостойкости (Cr, химический Ni), защиты от коррозии (Cr, Ni, черный Cr, химический Ni) и т. д.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка включает следующие операции: обезжиривание в органическом растворителе, обезжиривание химическое или электрохимическое, травление и активацию.

Обезжиривание в органическом растворителе деталей из Cu и ее сплавов проводится так же, как и деталей из цинковых сплавов.

Химическое и электрохимическое обезжиривание осуществляют в фосфатно-щелочных растворах с пониженной концентрацией $Na_2PO_4 \cdot 12H_2O$ и NaOH или в растворе следующего состава (г/л):

$Na_2PO_4 \cdot 12H_2O$	30—50
Na_2CO_3	30—50
NaCN	18—25

Режим обезжиривания: $t = 30 \pm 10$ °С; $i_k = 1 \pm 0,5$ А/дм²; $t < 10$ мин. Химическое обезжиривание проводят при $t = 30 \pm 10$ °С.

Травление деталей проводят при необходимости в растворе следующего состава (г/л):

HNO_3 (плотность 1,4 г/см ³)	500
H_2SO_4 (плотность 1,8 г/см ³)	500
HCl (плотность 1,19 г/см ³)	5
вод. AsH_3	5—10 г

Режим травления: $t = 18 \pm 25$ °С; $t < 1$ мин.

Активацию деталей, на которые осаждают покрытия в крепких электролитах, проводят в растворе следующего состава (г/л):

H_2SO_4	50—100
вод. HCl	50—100

Режим активации: $t = 18 \pm 25$ °С; $t = 1 \pm 2$ мин.

Активацию деталей, на которые осаждают покрытия в цинковых электролитах, проводят в растворе следующего состава (г/л)

NaCN	50—100
------	--------

Режим активации: $t = 18 \pm 25$ °С; $t = 10$ с.

Гальваническое осаждение покрытий. Осаждение гальванических покрытий на детали из меди и ее сплавов проводится, как правило, по подслою (Cu, Ni, Ag). Осаждение Ni, Sn проводится по предварительно омедненной поверхности. Подслоем наносят из цинкового медного электролита толщиной 3—6 мкм. Для бронз предварительное меднение в цинковом электролите обязательно. Защитно-декоративное и защитное хромирование осуществляется по подслою Ni, а износостойкое хромирование — без подслоя. Цинкование и никелирование деталей из Cu и ее сплавов проводится также без подслоя.

Золочение металлов осуществляется по подслою Ag или Ni, а родирование, никелирование и серебрение проводится по подслою Au. Осаждение гальванических покрытий на детали из Cu и ее сплавов проводится в электролитах и при режимах, указанных в табл. 12.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Нанесение металлических покрытий на пластмассы и другие диэлектрики * позволяет получать специфические композиционные материалы с ценным сочетанием свойств металла и диэлектрика в одной детали. Этим сочетанием не обладает ни один из исходных материалов, взятый отдельно. Применение пластмасс и других диэлектриков с металлическими покрытиями позволяет заменять ценные металлы, резко снижать массу и себестоимость конструкций, соединять детали пайкой, значительно расширить ассортимент декоративной отделки поверхностей, предохранять пластмассы от старения и механических повреждений, придавать им негорючесть, а также стабильность формы и размеров при тепловых нагрузках. При этом ассортимент гальванических покрытий как по видам, так и по толщинам практически не ограничен.

Однако детали с металлическими покрытиями значительно сложнее изготавливать, их механическая прочность, тепло- и морозостойкость ниже, чем у металлов, кроме того, имеется опасность отслаивания покрытия от основы.

В зависимости от способа получения различают химические, гальванические, конденсационные, металлизационные и другие металлизационные покрытия диэлектриков, а также сочетания некоторых из них (например, химических и гальванических, лакокрасочных и гальванических и др.).

По назначению гальванические металлопокрытия, получаемые на диэлектриках, делят на защитно-декоративные и специальные. Первые предназначены для придания поверхности декоративных свойств с одновремен-

ной защитой ее от воздействий окружающей среды, вторые — для решения разнообразных технических задач, определяемых в основном природой металлов и структурой покрытия: обеспечения электропроводности, теплопроводности, магнитных и оптических свойств, экранирования от электромагнитных воздействий и излучения, увеличения химической стойкости и других.

Наименьшей допустимой прочностью сцепления защитно-декоративного покрытия с пластмассовой основой считается 0,35—0,5 кН/м. Для деталей разнообразной фурнитуры и приборов бытового назначения наиболее приемлемой является прочность сцепления 0,5—0,7 кН/м, распределяемая силой на отслаивание. Для большинства деталей средних размеров, эксплуатируемых в условиях открытого воздуха со значительным перепадом температуры, достаточной является прочность сцепления 0,7—1,2 кН/м на отслаивание или 14—24 МПа на отрыв. В отдельных случаях, например, для крупных деталей, величину сцепления увеличивают до 1,4—2 кН/м и более.

Для покрытий специального назначения величина прочности сцепления в большинстве случаев должна быть не менее 0,25—0,3 кН/м на отслаивание или 6 МПа на отрыв.

Теплостойкость большинства пластмасс с гальваническими покрытиями по сравнению с пластмассами без покрытия увеличивается в среднем на 15—20%. Рабочий интервал температуры пластиков АБС с металлическим покрытием составляет —50÷+120 °С.

Для улучшения стойкости к перепаду температуры подбирают материалы диэлектрика и покрытия таким образом, чтобы коэффициенты линейного теплового расширения их были как можно ближе друг к другу, иносят подложки меди, компенсирующий напряжения

диэлектрика, используют детали с минимальными внутренними напряжениями и увеличивают прочность сцепления покрытия с основой.

После нанесения металлопокрытий механическая прочность пластмасс, как правило, увеличивается (табл. 1). Увеличивается ударная вязкость (от 1,5 до 10 раз), а также их жесткость, и вследствие этого они становятся

более хрупкими, снижается удлинение при разрыве (иногда в 2 раза и более), стойкость к циклическим нагрузкам и в некоторых случаях прочность при изгибе.

Наиболее употребительные в технике гальванические покрытия на диэлектриках, их условные обозначения и технической документации представлены в табл. 2.

1. Механическая прочность пластмасс с металлопокрытиями и без него

Пластмасса	Вид покрытия	Разрешающее напряжение *, МПа		Модуль упругости *, МПа	
		при растяжении	при изгибе	при растяжении	при изгибе
АБС-сополимер сайколак ЕП 3510	M30.H7.X	50 38 15	82 59 —	4100 2130 —	600 2130 2500
АБС-сополимер новолур ПМ/2Ц	M18.H9.X	85	—	—	2100 11000
Полисульфон	H30.H7.X	—	114 105	—	2750
Полипропилен общего назначения	H30.H7.X	39 34 33	101 51 32	300 1200 —	—
Фенопласт	M20	62 33	100 88	—	—
Полистирол	M20	43 39	101 45	—	—
Ацетат целлюлозы	M20	41	53	—	—

* В числителе приведены данные при наличии металлопокрытия, в знаменателе — без него.

2. Гальванические покрытия диэлектриков

Покрытие	Условное обозначение	Назначение
Никелевое блестящее толщиной 6—12 мкм на подслое: химического никеля, медь матовая и блестящая, никель блестящий	Хим.Н.М6.м.М6.б.Н6.б	Защитно-декоративная отделка
Химической меди, медь матовая и блестящая, никель блестящий	Хим.М.М6.м.М6.б.Н6.б	
Никелевое блестящее толщиной 6—9 мкм на подслое химического никеля и никеля матового толщиной 3—6 мкм, получаемое насыпом	Хим.Н.Н3.м.Н6.б	То же для деталей, работающих преимущественно из открытого воздуха. То же для ответственных деталей, работающих в жестких условиях эксплуатации
Хромовое блестящее толщиной 0,3—0,5 мкм на подслое химического никеля, медь матовая и блестящая, никель блестящий	Хим.Н.М6.м.М3.б.Н6.б.Х.б	
	Хим.Н.Н3.м.Н9.б.Н6.б.Х.б	
	Хим.Н.М6.м.М12.б.Н9.б.Х.б	
	Хим.Н.М6.м.М18.б.Н12.б.Х.б	

* Часто этот процесс называют металлизацией.

Продолжение табл. 2

Покр. тле	Условное обозначение	Назначение
Медные толщиной 6—24 мкм на подслое химической меди или никеля	Хим.М.М12; Хим.Н.М12	Создание электропротект. слоя
Серебряные толщиной 9—18 мкм на подслое химической меди и меди толщиной 12—18 мкм	Хим.М.М12.Ср9	
Из сплава олово—свинец толщиной 5—18 мкм на подслое химической меди и меди толщиной 12—18 мкм	Хим.М.М12.О-С9	Обеспечение пайки
Из сплава олово—висмут толщиной 6—12 мкм на подслое химической меди и меди толщиной 12—18 мкм	Хим.М.М12.О-Вн6	

ДИЭЛЕКТРИКИ, ПОДВЕРГАЕМЫЕ ПОКРЫТИЮ

Из пластмасс, на которые наносят гальванические покрытия, наибольшее практическое применение получили пластики АБС (доля их в общем потреблении — около 90 %). Они представляют собой сополимер акрилонитрила, стирола и бутадиена. Причем первые два компонента образуют между собой полимерный скелет как жесткий пластик, в котором дисперсированы и равномерно распределены макромолекулы полибутадиена в виде глобул. Благодаря такому строению пластики АБС легко растворимы в растворах травления с получением довольно высокой прочности сцепления с металлом — до 2 кН/м (в среднем $1-1,5 \text{ кН/м}$). В тоже время они обладают высокой механической прочностью и химической стойкостью, из них легко изготовить различными методами детали с поверхностью высокого качества.

В СССР для нанесения эпитаксиальных покрытий выпускается пластик (сополимер стирола) марки АБС-2С20. Остальные марки пластиков АБС имеют значительно меньшую прочность сцепления с металлом, хотя и превосходят в этом отношении другие пластмассы.

Промышленное применение приобретает полипропилен. Он обладает высокими механическими и химическими показателями. По сравнению с пластиком АБС полипропилен

имеет более низкую водопоглощаемость и более высокую стойкость к атмосферным воздействиям и прочность сцепления с металлом (обычно $2,5-3,5 \text{ кН/м}$, а в некоторых случаях $8-10 \text{ кН/м}$), а также более низкую стоимость.

Полипропилен с металлопокрытиями применяют в автомобильной промышленности для деталей больших размеров, работающих на открытом воздухе, а также для изготовления деталей сельскохозяйственного оборудования, работающих в горячих средах.

Из других пластмасс, практически пригодных для нанесения покрытий, следует отметить полисульфон и поликарбонат. Они позволяют получать детали с высокой прочностью сцепления, которая, например, для полисульфона может достигать значений $2,8-4 \text{ кН/м}$, а для поликарбоната $2,6 \text{ кН/м}$. Благодаря своим физико-механическим характеристикам, в частности повышенной термостойкости и ударной вязкости, их широко применяют для изготовления деталей различного назначения.

Гальванические покрытия наносят также на полифениленоксид. По сравнению с известными пластмассами он имеет самый низкий коэффициент линейного теплового расширения и высокую термостойкость и стойкость к перепаду температуры. Но он распространяется мало и применяется только в особых случаях.

Представляет интерес также полистирол. По своей структуре и свойствам

он очень близок к пластмассам типа АБС, но практического применения не получил из-за недостаточного сцепления получаемых покрытий с основой. Его можно применять для деталей, к которым не предъявляются высокие требования по термостойкости и механическим свойствам.

Для специальных целей используют и другие пластмассы: полиэтилен, полиамиды (в том числе нейлон), полифены, полиацетали, поливинилхлорид.

При изготовлении токопроводящих элементов на диэлектриках применяют термоактивные пластмассы (пресс-материал типа АГ-4, карболиты, фенолформальдегидные и эпоксидные стеклопластики), а также неорганические диэлектрики (керамику, фарфор, стекло, кварц, слюду, шпатель, ферриты). Большинство этих материалов характеризуется повышенными электроизоляционными свойствами, мало подвергаются деформациям при воздействии повышенной температуры, отличаются повышенной хрупкостью.

Прочность сцепления металлического покрытия с основой зависит от природы диэлектрика, способов и режимов изготовления из него деталей, качества подготовки поверхности, и многих других факторов. В значительной степени она определяется толщиной получаемого покрытия и механической прочностью поверхностного слоя диэлектрика глубиной $1-2 \text{ мкм}$. Величина прочности сцепления у разных диэлектриков может колебаться от нескольких сотых до 14 кН/м при отслаивании покрытия.

По теории механического сцепления, объясняющей возникновение прочной связи между металлом и диэлектриком, на поверхности, подготовленной к нанесению покрытия, содержится большое количество микроуглублений (у пластиков АБС — до $80 \text{ млн. на } 1 \text{ см}^2$). В эти углубления проникает осаждаемый химическим способом металл и при заполнении их образует механическое сцепление типа «ласточка в хвосте». Чем больше этих сцеплений, тем больше прочность сцепления между поверхностью диэлектрика и сформированным на нем металлическим покрытием. Эта теория хорошо объясняет образование прочной связи с пластмассами етерогенного строения, с поверхности

которых при травлении легко удаляется одна из фаз: у сополимеров АБС — глобулы полибутадиена, у полипропилена и изокоторых других пластмасс — аморфная фаза или мономер. Однако она не объясняет увеличение прочности сцепления со временем, а также уменьшение ее вследствие протекания коррозионных процессов.

Химическая теория, впервые обоснованная Собестром и его коллегами, учитывает химическое взаимодействие между металлом покрытия и пластмассой за счет ван-дер-ваальсовых (электростатическое взаимодействие) и дипольных сил.

Принимая во внимание обе теории, следует считать, что шероховатость является необходимым, но недостаточным условием получения высокой прочности сцепления металлического покрытия с пластмассой. Необходимо учитывать также влияние на прочность сцепления следующих факторов: прочности самой пластмассы, так как разрушение обычно происходит в поверхностном слое ее; наличия на поверхности благоприятных функциональных групп; энергетического состояния поверхности, определяемого преимущественно релаксацией напряжений при химической и термообработке.

Прочность сцепления измеряют различными методами. Наиболее распространены методы отрыва, отслаивания полоски с постоянной скоростью и постоянной нагрузкой.

Для ориентировочного сравнения прочности сцепления, определенной методом отрыва (F_0 , МПа) и методом отслаивания (F_1 , кН/м) покрытий меди толщиной $25-40 \text{ мкм}$, предложено соотношение $F_0 \approx 25 F_1$.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Конструкция деталей из пластмасс и других диэлектриков, предназначенных для нанесения гальванических покрытий, должна отвечать не только функциональным, но и технологическим требованиям. Наиболее благоприятными с точки зрения специфики метода нанесения покрытий считают конструкции с одинаковой толщиной стенок без резко выступающих или углубленных элементов, узких и глубоких щелей, отступов и выносов.

3. Требования к элементам формы деталей.

Предназначены для нанесения гальванических покрытий

Элемент формы	Требования
Плоские поверхности, стенки	Площадь $\leq 0,1 \text{ м}^2$, толщина $\geq 2,5 \text{ мм}$ и как можно более равномерная, отклонение максимальной толщины от минимальной $\leq 0,1 \text{ мм}$, пористость 1—2 мм на 100 мм. Желательна мелкая борозка рисунчатость
Торцы, кромки	Желательны округлые буртики общей толщиной $\leq 1,5 \text{ мм}$ и шириной $\geq 1 \text{ мм}$
Ребра жесткости	Нежелательны. Недопустима прямоугольная форма их. Отношение толщины к толщине стенки детали равно 0,5—0,7, а отношение к высоте к толщине стенки детали ≤ 2
Радиусы закругления	Внутренние 3 мм, внешние 1,5 мм (0,4—0,8 толщины стенки, но $\geq 0,5 \text{ мм}$)
Углы	Предпочтительны $> 90^\circ$. Острые и прямые нежелательны. Закругления углов $> 0,6 \text{ мм}$
Отверстия, углубления	Круглые сечения, желательны сквозные. Отношение диаметра к глубине $> 1,5$. Радиус закругления дна $\geq 3 \text{ мм}$
Пазы	Отношение ширины к глубине ≥ 2 . Нежелательна прямоугольная форма
Решетки	Отношение ширины отверстия к ширине перемычки ≥ 1 , а ширины отверстия к толщине решетки $\geq 0,5$. Ширина перемычки $\geq 1,5 \text{ мм}$. Желательны уклоны 5° и изгиб решетки радиусом в 5—10 раз больше ее ширины
Резьба	Метрическая диаметром $\geq 5 \text{ мм}$. Шаг резьбы на 50 % длиннее нарезки
Технологический уклон	Для электродов АБС $> 1^\circ$, для полипропилена, полиэтилена, полиамидов и акриловых смол $\geq 0,25^\circ$, для полиамидов $> 0,125^\circ$
Надписи	Высота 0,3—0,5 мм с углом 65° . Шрифт закругленный
Металлическая облицовка	Нежелательна. Рекомендуется установка ее после нанесения покрытия

Нежелательны также большие гладкие поверхности, острые углы, ребра и кромки. Основные требования к конструктивным элементам формы деталей из пластмассы и других диэлектриков приведены в табл. 3.

В деталях, обработку которых производят на подвесках, следует предусмотреть места для контактов. Для этого можно использовать отверстия, пазы, щели, крошки или выступы на внутренней стороне детали. Иногда целесообразно в качестве контакта оставлять литник, который удалит после нанесения покрытия.

ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТМАСС

Способ и режим переработки пластмассы в детали оказывают существенное влияние на качество получаемых покрытий и в первую очередь на прочность сцепления покрытия с основой.

Максимальную прочность сцепления достигают при изготовлении деталей прессованием и экструзией. Однако наибольшее практическое распространение получил способ литья под давлением, как более производительный.

Установлено, что прочность сцепления тем выше, чем выше температура расплава, меньше скорость литья и давление литья. Значительное влияние оказывает также и состав пластика.

Для пластика АБС-2020 рекомендуется следующий режим переработки:

температура расплава, $^\circ\text{C}$	240—250
давление литья, МПа	120—140
скорость литья, м/с	7—10
температура пресс-формы, $^\circ\text{C}$	70—80

Видержка под давлением и продолжительность охлаждения в форме подбираются экспериментально в зависимости от конфигурации и толщины детали.

Материал перед переработкой рекомендуется подсушить при температуре 75—80 $^\circ\text{C}$ в течение 2—3 ч (до получения остаточной влажности 0,05 %).

Для переработки пластиков АБС наиболее подходящими являются шнековые термопластавтоматы, обеспечивающие гомогенизацию и кратковременное пребывание расплава в цилиндре.

Детали, предназначенные для нанесения гальванических покрытий, не должны иметь явной ориентации структуры, внутренних напряжений и дефектов поверхности.

При нанесении защитно-декоративных покрытий решающее значение имеет качество поверхности пресс-формы. Поэтому пресс-форму рекомендуется изготавливать из высококачественной стали методом вакуумного литья и все рабочие поверхности ее обрабатывать до зеркального блеска ($Ra \leq 0,2 \text{ мкм}$) и хромировать.

При конструировании пресс-формы необходимо предусмотреть нагрев и охлаждение ее; линия разъема должна быть расположена в наименее заметных местах детали.

Отливают детали без смазывания пресс-формы. В случае крайней необходимости формы посыпают тальком или смазывают жидким мылом, стеаратами цинка, кальция, глицирином, касторовым маслом. Особенно вредны силиконовые масла, которые впитываются поверхностью пластмассы и препятствуют травлению ее.

Инструмент для удаления литников должен быть чистым и обезжиренным. Рабочие должны пользоваться чистыми хлопчатобумажными перчатками и бережно обращаться с деталями, так как любые неровности, царапины, вмятины и отпечатки пальцев на поверхности деталей становятся более заметными после нанесения блестящих покрытий.

СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Технологический процесс получения гальванических покрытий на любых диэлектриках включает все операции обработки, начиная с подготовки поверхности. Независимо от природы диэлектрика и назначения деталей он состоит из трех основных стадий: подготовки поверхности; получения электропроводного подслоя; нанесения гальванических покрытий.

Оrientировочная схема процесса получения защитно-декоративных покрытий на диэлектриках химико-гальваническим способом с использованием коллоидного раствора активирования следующая.

Подготовка поверхности: механическая, обезжиривание; промывка в теплой воде; промывка в холодной воде; протравление; травление; улавливание; обезжиривание; промывка в холодной воде; контроль качества подготовки поверхности.

Подушение электропроводного подслоя: обезжиривание в растворе HCl; активирование; улавливание; промывка в холодной воде; акселерация; промывка двухкаскадная в холодной воде; никелирование (меднение) химическое; промывка в холодной воде; контроль качества подслоя.

Нанесение гальванических покрытий: активация; промывка в холодной воде; меднение матовое (никелирование матовое или полублестящее); меднение блестящее; улавливание; промывка двухкаскадная в холодной воде; никелирование блестящее; улавливание; промывка двухкаскадная в холодной воде; хромирование; улавливание; промывка в холодной воде; промывка в горячей воде; сушка, контроль качества покрытия.

В зависимости от природы диэлектрика, природы системы покрытия, способов активации получения электропроводного подслоя и других факторов выполняемые операции и их последовательность могут существенно изменяться.

Подготовка поверхности. Механическая подготовка, осуществляемая с целью получения микрошероховатости поверхности, часто представляет собой мокрую или сухую абразивную обдвку сжатым воздухом. В условиях единичного или опытного производства применяют обработку шлифовальной шкуркой, немзой, абразивной пастой, стальной щеткой и т. п. Мелкие детали массового производства обрабатывают с абразивом во вращающихся барабанах или колоколах. В качестве абразива используют кварцевый песок, наждачный порошок, электрокорунд, немзу и другие вещества.

Однако механическая обработка не всегда обеспечивает достаточное сцепление покрытия со многими диэлектриками и значительно ухудшает декоративные свойства поверхности. По этим причинам ее применяют ограниченно, преимущественно при нанесении

4. Составьте отчеты по растворам (табл.)
и схемы обезвреживания для сточных вод

Содержание вещества в руде	Мг. в 1 г. руды	
	1	2
Na 1·O ₂ · 12H ₂ O	15—25	40—50
Na ₂ CO ₃	15—25	30—50
NaOH	—	40—50
NaAlO ₂ · O(H ₂ O) · ОП. (т. д.)	5—15	3—5
OC. 20 (т. д.)		
<i>t</i> , °C	50—60	60—70
<i>τ</i> , мин	10—15	10—15

ли: специальных покрытий на неорганические диэлектрики и герметизирующие пластмассы.

Обезжиривание пластмасс и других диэлектриков проводят в щелочных растворах или в органических растворителях. При этом подбирают такие составы, которые не растворяют обрабатываемый материал и не вызывают заметного набухания или растрескивания его. Для обезжиривания в щелочных растворах применяют те же растворы, что и для обработки металлов. Наиболее употребительные составы для обезжиривания диэлектриков приведены в табл. 4. Раствор № 1 используют для обезжиривания полиэфирных конденсаторов, раствор № 2 — преимущественно для органических диэлектриков.

В качестве сырья используют растительный для обеспечения витамина А экстракты каротиноидов применяют бета-каротин, водорастворимый витамин Е, токоферол и синтетический витамин К₁, рибофлавин, тиамина гидрохлорид, аскорбиновую кислоту, уксусную кислоту.

При незначительных загрязнениях поверхности пластмасс операция обезжиривания совмещают с операцией травления в растворах, содержащих более 200 г/л CrO_3 . В этих растворах жиры хорошо удаляются.

Контроль качества обезжиривающей пластмасс в большинстве случаев затруднен, так как они остаются гидрофобными, т. е. не смачиваемыми водой. Для оценки степени загрязнения пластиков АБС и полиолефинов предложено обработка их в растворе, содержащем 35 г/л H_2SO_4 и 30 г/л $KMnO_4$. В процессе обработки на поверхности выделяется осадок, не препятствующий дальнейшему травлению и нанесению покрытий.

Представление обычно проводится непосредственно перед применением. Эта операция включает обработку поверхности полимера органическими растворителями, их смешивая или эмульсиями, а также растворами кислот, щелочей, солей.

Для внедрения различных полимеров можно использовать растворители, приведенные в табл. 5. Состав смеси растворителей и режим обработки зависят главным образом от природы полимера и чаще всего устанавливаются экспериментально.

Тщательное рассмотрение текстов, в которых описаны процессы сгорания, позволяет выявить необходимость совершенствования сопел форсунок, а также и погрешности в 4—5 раз. Однако несмотря на это, образцы габаритных форсунок, изготовляемых промышленностью, отличаются от образцов, изготовляемых в лаборатории, а форсунок, изготовляемых в лаборатории, от образцов, изготовляемых в промышленности. Поэтому ввиду трудности кон-

троля процесса. Наиболее часто со-
полимеры стирола образуются в те-
чение 3—5 мин в ~10%-ом растворе
 H_2SO_4 или в отработанных растворах
тавления.

Силикатные материалы (стекло, кварц, слюда и др.) перед травлением обрабатывают в течение 20—90 мин в концентрированной H_2SO_4 , содержащей 20—50 г/л $K_2Cr_2O_7$, а ферритовые материалы кипятят в 10-4%-ном растворе H_2O_2 .

Травление — весьма ответ-
ственная операция в технологическом
процессе получения покрытий. Она
представляет собой химический про-
цесс, в результате выполнения кото-
рого происходит изменение структуры
и химических свойств поверхности
диэлектрика.

Травление обычно стремится проводить в растворах, которые избирательно (селективно) действуют на разные компоненты одного и того же диэлектрика. Поэтому составы этих растворов и режимы обработки в них часто весьма специфичны и определяются природой, структурой и свойствами проводимости диэлектрика.

Рекомендуемые составы растворов травления и режимы обработки в них разных диэлектриков приведены в табл. 6.

Зависимость между составом раствора, температурой, продолжительностью обработки и природой диэлектрика всегда довольно сложная. Поэтому оптимальный состав раствора и режим гравления для конкретного диэлектрика часто устанавливают экспериментально в зависимости от марки и способа его получения, режимов изготовления детали, а также ее геометрической формы, шероховатости поверхности и других факторов.

Наиболее подходящим раствором для травления пластиков АВС-2020 является раствор № 1. Он сохраняет работоспособность до накопления в нем 40—50 г/л ионов $\text{Cr}(\text{III})$. После этого процесс травления значительно замедляется, и раствор регенерируют или заменяют.

Контроль качества травленной поверхности осуществляют визуальным осмотром невооруженным глазом или под микроскопом. Оптимально протравленная поверхность полимера

остается галькой из вулканитов, становится
слепка матовой, а дно становится
водостойким; обесцвечивает максимальное
снятие окраски с основы. Под
микроскопом она имеет вид пыли.
Среднеарифметическое значение мик-
ронеровности от средней линии
 $Ra \approx 1$ мкм.

Обезвреживание выполняют для удаления ионов Cr(VI) , оставшихся на поверхности диэлектрика после выполнения операции улавливания и промывки. Операция обезвреживания заключается в обработке поверхности одним из растворов, представленных в табл. 7.

В случае последующего активирования в коллоидном активаторе наиболее часто используют раствор № 4. При этом промежуточную промывку между операциями не проводят, что дает возможность стабилизировать состав раствора для активирования. Концентрации кислот в этом случае поддерживают приблизительно равной концентрации ес в активаторе активирования (см. табл. 11).

Если промывные операции после травления не обеспечивают достаточное удаление соединений Cr(VI) , то применяют обезвреживание в двух растворах, например, в растворе № 3 или 4, после промывки — в растворе № 4.

Активация может изменять процесс, в результате которого происходит обработка металлом. В частности, диэлектрик придает каустическим свойствам, обеспечивая более инициирование реакции химического восстановления металла. Активация может быть осуществлена физическими и химическими способами. Практическое значение имеет последнее. Суть химического способа состоит в том, что на поверхность диэлектрика наносят активатор, из которого образуются каталитически активные вещества. В качестве активатора может быть использован раствор благородного металла (Pd, Ag, Au, Pt и др.), предложены также растворы меди, железа, никеля, кобальта. Наибольшее промышленное применение получили растворы палладия, в некоторых случаях — аммиачные растворы серебра.

Химическую активацию поверхности диэлектриков производят двумя способами: традиционным и прямым

6. Составы растворов (г/л) и режимы травления диэлектриков

Компоненты раствора и режим	№ раствора				
	1	2	3	4	5
CrO_3	350—400	40—65	—	20—30	~60
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	—	—	40—50	—	—
H_2SO_4 ($\rho = 1,84$ г/см ³)	380—420	700—800	750—800	600—620	~1500
H_3PO_4 ($\rho = 1,71$ г/см ³)	—	—	—	180—210	—
NaOH	—	—	—	—	—
H_2O_2 (30 %)	—	—	—	—	—
HCl ($\rho = 1,19$ г/см ³)	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—	—	—	—
Вода	690—770	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л
$t, ^\circ\text{C}$	60—70	55—65	60—70	50—70	80—90
$t, \text{мин}$	8—20	5—10	5—10	8—15	15—20
Обрабатываемый диэлектрик	Полипропилен, полистирол				

7. Составы растворов (г/л) и режимы обезвреживания

Компоненты раствора и режим	№ раствора			
	1	2	3	4
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10—60	—	—	—
H_2SO_4 ($\rho = 1,84$ г/см ³)	10—20	—	—	—
NaHSO_4	—	20—50	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—	10—20	—
HCl ($\rho = 1,19$ г/см ³)	—	—	—	150—500 мл/л
$t, ^\circ\text{C}$	18—25	18—25	18—25	18—25
$t, \text{мин}$	0,5—2	0,5—1,0	0,1—0,2	0,5—1,5

активирования*. Традиционный способ активирования наиболее универсален и доступен. Он заключается в том, что раствор активатора наносят на поверхность диэлектрика после специальной обработки — сенсибилизации.

При прямом активировании обработку поверхности диэлектрика осуществляют непосредственно раствором активатора. Превращение его в катализатор происходит в растворе окселе-

ратора, иногда — в растворе химического покрытия.

Активность поверхности часто оценивают эффективностью активации, представляющую величину, обратную периоду индукции — продолжительности от начала реакции восстановления химически осажденного металла до появления видимого глазом сплошного покрытия.

Сенсибилизация представляет собой обработку поверхности диэлектрика раствором восстановителя. В качестве последнего чаще всего используют кислые растворы двухло-

№ раствора															
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
—	—	—	—	—	До насыщения	~75	10—15	—	—	—	—	—	—	—	—
—	~60	—	—	—	До насыщения	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	~1560	—	1420	—	~96 %	~460	~770	55—75 %	~80 %	~780	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
~300	—	230—250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л
100—105	35—45	~80	85—95	18—25	50—60	70—80	105—110	10—20	10—20	18—25	18—25	18—25	18—25	18—25	18—25
20—30	0,5—1	~5	0,1—0,2	~0,3	1—3	2—10	10—20	10—20	10—20	10—20	10—20	10—20	10—20	10—20	10—20
Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат	Поликарбонат

ристого олова, которые подвергаются гидролизу с образованием малораспространенных продуктов $\text{Sn}(\text{OH})_2$, SnCl_2 и более сложных химических соединений. Они закрепляются на обрабатываемой поверхности слоем толщиной от нескольких десятых микрометров.

Получаемые продукты гидролиза весьма чувствительны к кислотам и щелочным растворам, а также к веществам и процессам окисления $\text{Sn}(\text{II})$. Эти свойства используют для предотвращения осаждения покрытия на отдельные участки поверхности.

Растворы сенсибилизации со временем мутнеют и приобретают желтый цвет из-за накапливающихся в них ионов $\text{Sn}(\text{IV})$ вследствие окисления $\text{Sn}(\text{II})$ кислородом воздуха.

Обычно для сенсибилизации используют раствор № 1 (табл. 8), но чаще всего раствор № 2.

Растворы сенсибилизации способны восстанавливать до металлического состояния ионы благородных металлов. Поэтому при физическом серебрении, палладировании и золочении активацию поверхности ограничивают сенсибилизацией.

Для качественной оценки пригодности раствора сенсибилизации грубую его смешивают примерно с равным объемом свежеприготовленного раствора активирования. Раствор пригоден к работе, если полученная смесь окрашивается в красный или кирпичный цвет. Если этого не происходит, его заменяют новым.

Готовят раствор сенсибилизации нужного количества SnCl_2 в расчетном количестве концентрированной HCl и разбавляют его в обезсоленной воде требуемого объема.

Активирование — это получение раствора (г/л) и режимы сенсибилизации

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	10—100	10—50
HCl ($\rho = 1,19$ г/см ³)	10—80 мл/л	10—50 мл/л
Олово (металлическое)	0—2	0—2
$t, ^\circ\text{C}$	18—25	18—25
$t, \text{мин}$	0,5—15	0,5—15

* Активированием называют обработку поверхности раствором активатора, т. е. операцией, составляющую часть процесса активации.

чащие каталитически активные металлы в результате взаимного действия с восстановителем, адсорбированным поверхностью, в растворе оседают на частицы. Получаемый при этом металл равномерно распределяется по всей поверхности в виде коллоидных частиц или малоразмерных осадочных слоев. Полное превращение частиц в металл часто происходит уже в растворе химического покрытия.

Следует, что успешное проведение процесса нанесения покрытия обеспечивается от частицы палладия диаметром около 0,005 мкм в количестве 10—15 на 1 см².

Рекомендуемые составы растворов и режимы активирования приведены в табл. 9.

После активирования проводят промывку в проточной обессоленной воде с целью улавливания благородного металла. Затем следует промывка в проточной воде и загрузка в ванну химического покрытия.

В случае применения раствора № 2 после активирования производят обработку в растворе, содержащем 50 мл/л 25 %-ного раствора NH₄OH.

Для приготовления раствора № 1 расчетное количество измельченного PdCl₂ растворяют в нагретой до 50—60 °C HCl и полученный раствор разбавляют в обессоленной воде до требуемого объема.

Раствор № 2 готовят растворением AgNO₃ в небольшом количестве воды, после чего добавляют NH₃ до растворения образующегося коричневого осадка и доводят раствор водой до требуемого объема.

Прямое активирование основано на способности травленной по-

верхности, действующей как ионно-обменный сорбент, сорбировать такое количество металла-активатора, которое обеспечивает иницирование реакции химического осаждения металла (не менее 10 мг/м²). Активирование в значительной степени зависит от природы диэлектрика и физико-химических свойств его поверхности.

Прямое активирование применяют для пластмасс, легко поддающихся травлению, и не применяют, например, для гладких поверхностей стекла, нитрата целлюлозы, полистилена, фторопласта перед химическим наклеиванием.

При ионном активировании используют раствор № 1 (табл. 10); значительное распространение получили и раствор № 2. Для увеличения эффективности активации рекомендуется нагрев растворов до 40—60 °C.

Избирательное активирование в ионных растворах возможно при значениях pH 0,5—2,5. При pH 2,5 начинается гидролиз PdCl₂, и образующаяся гидроксидная соль вызывает осаждение покрытия на приспособлении. На практике процесс проводят при pH 1,8—2,0.

Приготовление растворов № 1 и 2 аналогично приведенному выше (см. табл. 9, раствор № 1). Для приготовления сернокислого раствора можно использовать и PdCl₂. Для этого расчетное количество последнего растворяют при нагревании в HCl (1—2 мл/л). После охлаждения в полученный раствор добавляют при перемешивании H₂SO₄ (3—6 мл/л) и выпаривают до появления густых белых паров. Затем сухой остаток растворяют

10. Составы ионных растворов (г/л) и режимы прямого активирования

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
PdCl ₂ PdSO ₄ HCl (ρ = 1,19 г/см ³)	0,5—1,0 — 3 10 мл/л	0,3—1,0 — — 6 мл/л
H ₂ SO ₄ (ρ = 1,81 г/см ³)	—	3—6 мл/л
pH	1—2	1—2
t, °C	18—25	18—25
t, мин	3—8	3—6

в обессоленной воде, раствор переносят в рабочую ванну и доводят водой до требуемого объема.

Широкое промышленное применение имеют коллоидные (совмещенные) растворы активирования. Их получают при смешении избытка SnCl₂ с PdCl₂. По сравнению с ионными они обладают рядом преимуществ: большой избирательностью и стабильностью в работе, более сильной активацией, возможностью активировать комбинации из металла и диэлектрика поверхности с получением большей прочности сцепления покрытия как с металлом, так и с диэлектриком.

При обработке коллоидными растворами на поверхности пластмасс сорбируются комплексные соединения палладия и олова, оседают коллоидные частицы палладия и продукты гидролиза олова. Общее количество палладия на активированной поверхности достигает 5 мг/м² или примерно 10¹⁶ атомов Pd на 1 см². Однако они приобредают каталитическую активность только после обработки в растворе акселератора, удаляющего избыток соединений олова.

Применяемые составы растворов и режим активирования в коллоидных растворах приведены в табл. 11.

Применение раствора № 2 предпочтительно, так как добавка хлоридов делает его более стабильным в эксплуатации.

Приготовление коллоидного раствора производят следующим образом. Рассчитанное количество PdCl₂ растворяют при слабом нагревании в HCl (6 мл на 1 г PdCl₂). Раствор охлаждают и разбавляют обессоленной водой из расчета 20 мл на 1 г PdCl₂. Двуххлористое олово растворяют в нагретой до

11. Составы коллоидных растворов (г/л) и режимы активирования

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
PdCl ₂ SnCl ₂ · 2H ₂ O HCl (ρ = 1,19 г/см ³)	0,2—1,2 40—50 250— 300 мл/л	0,2—1,2 40—50 150— 200 мл/л
KCl или NaCl	— —	140—150 110—120
t, °C	18—25	18—25
t, мин	1—5	0,5—2,0

40—50 °C HCl (0,5 мл на 1 г SnCl₂ · X · 2H₂O) и медленно при перемешивании вливают его в раствор PdCl₂. Полученный раствор нагревают до 90—100 °C и выдерживают при этой температуре в течение 10—15 мин. После этого добавляют раствор, содержащий хлориды, остальную часть соляной кислоты и воды. Раствор не следует фильтровать.

Находит применение и вариант способа прямого активирования, называемый активированием травлением. Для осуществления его используют раствор травления, в котором могут растворяться соли металлов-активаторов: Pd, Ag, Au, Pt. Особенно пригодным является раствор, имеющий следующий состав, масс. доля, %:

H ₂ SO ₄	25—35
CFO	22—28
металл-активатор	0,005—0,05

В случае применения палладия активирование травлением протекает более эффективно при отсутствии в растворе хлоридов. Если же используют хлористый палладий, то его предварительно переводят в сернокислые соединения.

Эффективность активации в растворах активированного травления прямо пропорциональна количеству сорбированного палладия.

Несмотря на явные преимущества активированного травления, оно имеет ряд недостатков, значительно ограничивающих его промышленное применение. Основание из них: большие потери благородного металла из-за частого образования травяного раствора и выноса его поверхностями обрабатываемых деталей и подосечных приспособлений; трудность поддержания в растворе коллоидной металла-активатора в требуемых пределах.

Акселерация заключается в превращении активатора, оставшегося на поверхности после прямого активирования, в каталитически активные частицы.

Акселерация увеличивает эффективность активации и начальную скорость химического осаждения никеля, а также стабильность растворов химического осаждения покрытий.

Для акселерации активированных коллоидными растворами поверх-

9. Составы растворов (г/л) и режимы активирования

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
PdCl ₂ HCl (ρ = 1,19 г/см ³)	0,1—0,5 10 мл/л	— —
AgNO ₃ NH ₄ OH (25 %-ный раствор)	— —	2—5 10— 15 мл/л
t, °C	18—25	18—25
t, мин	2—5	1—3

ностей используют растворы кислот (HBr , HCl , H_2O_2 , H_2PO_4), щелочей (NaOH , Na_2CO_3), а также некоторых солей. Наиболее употребительные составы растворов и режимы акселерации приведены в табл. 12.

Существенное влияние на равномерность последующего покрытия при использовании коллоидного катализатора оказывает продолжительность операций промывки. Если она недостаточна, то после активирования произойдет гидролиз комплекса или же не будет удален обескисляющая часть металлического палладия слой гидроксидов $\text{Sn}(\text{IV})$. Увеличение времени промывки приводит к смыву реагирующих компонентов. Оптимальная продолжительность промывки после активирования 2 мин, после акселерации 1 мин.

Получение электропроводного подслоя. Придание поверхности диэлектрика электропроводных свойств с целью последующего нанесения гальванических покрытий достигают разными способами: химическим восстановлением металла из раствора его солей, электрохимическим восстановлением металла из оксидов, введенных в состав поверхностного слоя диэлектрика или промежуточного покрытия, образованием электропроводных соединений (фосфидов, сульфидов и др.), нанесением электропроводных эмалей или металлических покрытий конденсационным способом и т. д. Из них самое широкое промышленное применение нашел способ хими-

ческого восстановления металлов, например Ni , Cu и Ag (для специальных целей).

Из этих способов наиболее часто применяют химическое никелирование. В некоторых случаях в качестве подслоя более предпочтительно медное покрытие, например при наложении пластичного слоя меди, детали с покрытием легче переносят резкие колебания температуры. В отличие тех же трихлор химических меднение предпочитают использовать и при нанесении покрытий на детали с большой площадью поверхности. Кроме того, на медь легче, чем на диэлектрик, наносить гальванические покрытия, так как полученные химическим способом слои никеля быстрее пассивируются. Имеет значение и то, что растворы меднения работают при температуре 18–25 °C, в то время как для растворов никелирования необходим нагрев хотя бы до 30–40 °C.

В качестве электропроводного подслоя широко применяют сульфиды меди и электропроводные эмали. Их использование расширяет ассортимент диэлектриков, пригодных для получения гальванических покрытий, упрощает процесс формирования электропроводного подслоя и исключает применение драгоценных металлов (Pd , Ag). С помощью электропроводящих эмалей можно решить проблему нанесения покрытий на пористые материалы (дерево, кожа, гипс и т. п.).

Химическое никелирование возможно на активированной, преимущественно соединениями палладия, поверхности диэлектрика. Процесс продолжают до достижения толщины, обеспечивающей достаточную электропроводимость для последующего нанесения электрохимических покрытий (обычно 0,3–0,8 мкм).

При выборе растворов химического никелирования учитывают, что многие диэлектрики имеют небольшую жесткость и теплоустойчивость и более высоки, по сравнению с металлами, коэффициент линейного теплового расширения. Поэтому избегают применять растворы с высокой рабочей температурой (выше 60 °C) и растворы, дающие осадки с высокими внутренними напряжениями. По этой же при-

13. Составы растворов (г/л) и режимы химического никелирования

Компоненты раствора и режим	№ раствора			
	1	2	3	4
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	24–30	—	—	3–7
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	—	28–35	—	—
$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	32–40	—	—
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	24–30	—	—	16–17
NH_4Cl	52–42	32–42	—	15–15
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,02–0,1	0,02–0,08	0,02–0,08	—
NaNO_2	30–40 мл/л	5(–10) мл/л	40 мл/л	—
NH_4OH (25 %-ный)	—	—	—	—
pH	8,5–9,0	8,5–9,0	8,5–9,0	8,5–9,2
t , °C	30–40	30–40	30–40	20–25
ПЗ , $\text{дм}^2/\text{л}$	1–2	1–2	1,5–2,0	14–15
СП при 30 °C, $\text{мкм}/\text{ч}$	~1,8	1,6–2,0	1,6–2,0	—
t , мин	3–15	5–15	5–15	10–40

ческие растворы, регламентируемые ГОСТ 9,047–75, могут быть применены лишь для немногих диэлектриков (стеклопластики, кварц, керамика и некоторые другие).

Для химического никелирования пластмасс используют низкотемпературные гипофосфитные, как кислые (pH 4–7), так и щелочные (pH 8–11), растворы.

Составы наиболее употребительных растворов и режимы химического никелирования приведены в табл. 13. Раствор № 1 наиболее часто употребляют. Он довольно стойкий, очень чувствительный к активации (6 $\text{г}/\text{л}$ Pd). Токсипроводный подслоя на поверхности пластмасс образуется в течение 4–6 мин. Скорость никелирования при 40 °C достигает 4,0–4,5 $\text{мкм}/\text{ч}$. Раствор № 2 аналогичен раствору № 1, но уступает ему по стабильности. Раствор № 3 применяется в основном при никелировании пластмасс насыпью.

Раствор № 4 предназначен для однократного применения при большой плотности загрузки. Он работает до полного выделения металла. Толщина покрытия при этом определяется площадью обрабатываемой поверхности (она равна 0,5–0,6 мкм для плотности загрузки 26–31 $\text{дм}^2/\text{ч}$).

Приобретают все большее практическое значение (особенно при никелировании пластмасс, керамики и стекла) аминоборатные и борогаллановые растворы. Но применение их сдерживается дефицитностью и высокой сто-

имостью восстановителей (бороги, дрида натрия, диметиламиноборана диметиламиноборана и др.).

Химическое меднение. Процесс химического восстановления меди имеет каталитическую природу, т. е. осаждение металла начинается только на активные поверхности катализатора и продолжается автокаталитически.

Химические медненные диэлектриков производят в растворах, приведенных в табл. 14.

Раствор № 1 широко применяют для создания электропроводящего подслоя на гладких поверхностях диэлектриков. Присутствие в нем соли никеля способствует увеличению прочности сцепления покрытия со стеклом и пластмассами. Раствор № 2 довольно стабилен, рекомендуется для нанесения покрытий на органические и неорганические диэлектрики; содержит (как и растворы № 3 и 4) сильный стабилизатор — тиосульфат натрия, не снижающий производительности раствора. Раствор № 3 применяют при получении металлических покрытий на пластмассах насыпью; стабильность его 16–17 сут. Раствор № 4 характеризуется большой проводимостью и малой стабильностью. Применяют его при нанесении покрытий на печатные платы. Для этих же целей рекомендуют и раствор № 5, сохраняющий стабильность при многократном корригировании до трех месяцев.

Для увеличения стабильности растворов химического меднения реко-

12. Составы растворов (г/л) и режимы акселерации

Компоненты раствора и режим	№ раствора			
	1	2	3	4
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	50–150	—	—	—
NaOH	—	20–40	—	—
NiCl_2	—	—	80–120	—
$(\text{pH} = 10 \text{ г/л})$	—	—	—	~120
t , °C	40–60	18–25	18–35	~40
t , мин	2–8	2–5	1–3	1–2

14. Составы растворов (г/л) в электрохимическом методе

Компоненты раствора	1	2	3	4	5
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	—	8—15	—	—	10—15
KNO_3 (или NaNO_3)	—	10—20	—	170—180	—
$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (или Na_2SO_4)	—	—	—	—	—
NaOH	4,5	10—15	—	40—50	—
H_2SO_4 (17%-ный)	—	10—15 мл/л	—	—	—
HCl (61%-ый)	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—	—	—	—
CS_2 (или H_2O)	—	—	—	—	—
Натрий карбонат	—	—	—	—	—
рН	10—11	12—12,8	12,1—12,6	12,9—13,0	12,1—12,6
I_2 , %	10—15	18—25	18—25	18—25	18—25
Cu , мм/ч	~0,1	0,8—1,0	~1,0	2—4	1,0—1,5
I_2 , г/л	—	0,0—0,5	1,0—2,0	2,0—4,0	0,4
I_2 , мин	10—15	10—20	—	8—10	10—15

менюется периодическое перемешивание сжатым воздухом и фильтрование их в течение рабочего дня.

Толщина медного подслоя, необходимая для последующего нанесения электрохимических покрытий, составляет 0,1—0,5 мкм.

Удельное электрическое сопротивление медных покрытий, полученных из раствора № 1, составляет (4—20)·10¹⁰ Ом·м.

Получение неметаллического электропроводного подслоя. Среди способов получения электропроводного подслоя без использования драгоценных металлов наиболее промышленно применимы способы нанесения сульфидов металлов и электропроводных эмалей. Сущность первого из них состоит в последовательном проведении окислительной сорбции неорганических веществ на поверхности полимера и преобразования их в соответствующие соединения — сульфиды, обладающие свойствами полупроводника, а второго — в формировании на поверхности диэлектрика покрытия из пленкообразующего вещества, в котором диспергирован электропроводный наполнитель.

Из многих сульфидов, способных осаждаться на поверхности диэлектриков, наилучшие результаты по прочности сцепления при нанесении

электрохимических покрытий обеспечивают сульфиды меди. Их получают проведением следующего технологического процесса:

сорбция в растворах, приведенных в табл. 15; гидролиз в проточной горячей воде при рН 7 в течение 0,1—0,2 мин; сульфидирование 0,1—0,5 мин при 18—25 °С в растворе, содержащем 10—50 г/л $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$; промывка в проточной воде в течение 0,1—0,5 мин.

15. Составы растворов (г/л) и режим сорбции

Компоненты раствора	1	2
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	8—15	10—15
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10—15	—
NH_4OH	—	—
$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	—	—

Необходимость нанесения слоя меди вызывается еще и тем, что она служит буфером между пластмассой и блестящим никелевым покрытием при резком изменении температуры. Хотя медь и имеет значительно меньший коэффициент линейного теплового расширения, чем пластмасса, но нагрев и расширение ее происходят быстрее. Это приводит к тому, что расширение или сжатие для пластмассы и осаждаемого подслоя становятся почти одинаковыми. В качестве буферного подслоя используют и эластичные осадки матового или подблестящего никеля. Толщина буферного подслоя составляет 50—75% общей толщины покрытия.

При осуществлении технологического процесса нанесения гальванических покрытий избегают применять растворы с повышенной температурой (выше 60 °C) и электролиты, дающие осадки с высокими внутренними напряжениями или осадки, требующие механического полирования, не используют агрессивные кислые или щелочные электролиты.

Во избежание растворения электропроводящего подслоя вследствие биполярного эффекта, применяют меры, чтобы деталь во время электролиза не теряла электрический контакт с подвеской даже на короткое время.

При использовании традиционного способа активации поверхности, а так-

же способа получения электропроводящего подслоя нанесением сульфидов меди покрытие осаждается не только на поверхности обрабатываемых деталей, но и на подвесках. Чтобы предотвратить нерациональный расход металла и электроэнергии, перед нанесением гальванических покрытий производят перемонтаж деталей на подвески, которые не подвергались активации. Такие технологические процессы неэкономичны и используются только при ручном производстве и небольшой производственной программе. Наименьшая вероятность осаждения покрытия на подвесках достигается в случае изоляции их пластином или фторопластом.

Схема нанесения защитно-декоративных покрытий показана на рис. 1.

Обработке насильно чаще всего подвергают детали из пластмасс, максимальный размер которых не превышает 25—30 мм. Особенности обработки их по сравнению с металлическими заключаются в следующем.

Плотность пластмасс (обычно АБС-2020) ниже плотности электролитов. Это затрудняет контактирование деталей с катодными токопроводами и друг с другом. По мере осажде-

ния покрытия плотность деталей повышается и приближается к плотности электролита.

При использовании барабана, обычно применяемого для нанесения покрытий на металлические детали, наблюдается плохое распределение электрического тока: почти весь ток распределяется на деталях, находящихся снаружи, а детали, размещенные в центре барабана, находятся не под током.

Вследствие ограниченной электропроводимости подслоя химически осажденного металла и его легкой повреждаемости может возникнуть перегрев или растворение его. Для предотвращения этого в начале процесса плотность тока должна быть низкой (порядка 0,1 А/дм²), что, в свою очередь, приводит к незначительному увеличению толщины химически осажденного металла, и он может растворяться в электролите.

Учитывая названные отрицательные факторы, нанесение покрытий насильно производят только в барабанах специальной конструкции. Такой барабан представляет собой полую перфорированную восьмигранную призму с размещенными внутри нее дополнительными анодом и стержневыми токопроводами.

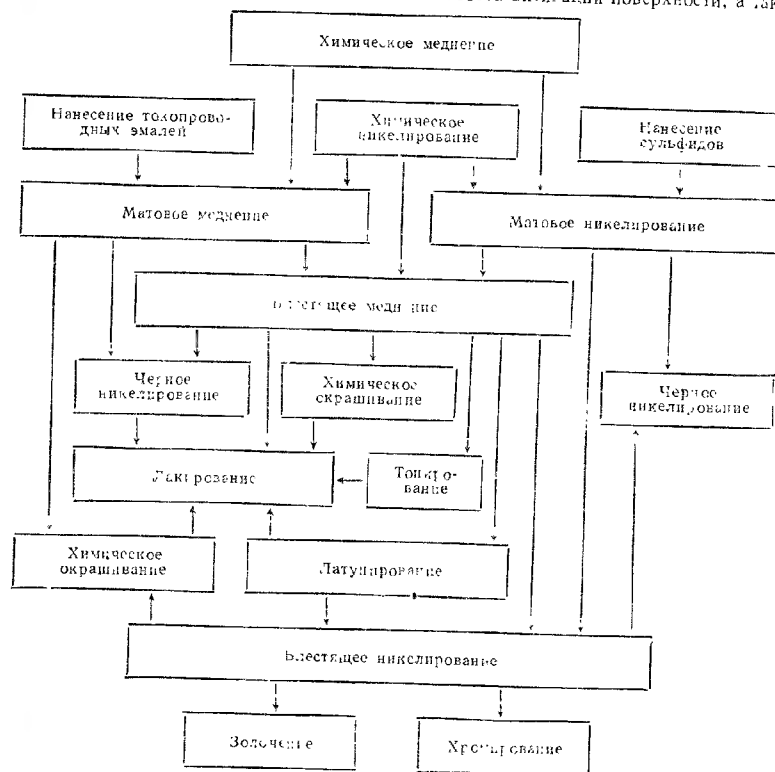


Рис. 1. Схема нанесения защитно-декоративных покрытий

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Использование электролитов на основе органических растворителей позволяет выделять металлы, электроосаждение которых из водных электролитов невозможно вследствие их значительного отрицательного потенциала; наносить покрытия на активные металлы; уменьшить наводороживание основы при осаждении покрытий; интенсифицировать в некоторых случаях гальванические процессы и снизить токсичность электролитов.

Ниже основное внимание уделено электроосаждению алюминия, поскольку этот процесс получил практическое применение, а сведения об электроосаждении и контактом выделения других металлов даны более кратко.

Органические растворители для электроосаждения металлов должны удовлетворять следующим основным требованиям: растворитель должен иметь значительную растворяющую и координирующую способность, позволяющую получать высокую концентрацию и электропроводность электролита; растворитель не должен химически реагировать с продуктами электролиза и материалами электродов; осаждаемый металл не должен служить катализатором для реакции полимеризации или конденсации растворителя; растворитель должен быть электрохимически устойчивым; он должен иметь достаточно низкое значение давления паров и быть нетоксичным.

Физико-химические свойства наиболее широко применяемых растворителей представлены в табл. 1.

Органические жидкости растворяют обычно большее количество соединений, чем вода, в них хорошо растворимы органические вещества и металлоорганические соединения. Вместе с тем большинство органических растворителей по сравнению с водой

обладают более низкой диэлектрической проницаемостью (ϵ), за исключением формамида и *N*-замещенных амидов. Тем не менее в растворителях с низкой диэлектрической проницаемостью, таких, например, как тетрагидрофуран, некоторые соли, растворяясь, обеспечивают достаточную для электроосаждения металлов электропроводность ($\sim 0,1$ См/см).

Наиболее подходящими для осаждения металлов являются растворители, которые содержат слабо координирующий центр (например, атом кислорода эфира, спирта, кетона) или двойную связь в молекуле ароматического углеводорода. Растворители с более насыщенными и потому более сильно координирующим центром (например, атом азота или карбонильная группа) образуют довольно прочные комплексы, из которых выделение металла затруднено.

Кроме того, при электроосаждении металлов из органических растворителей следует считаться с весьма большой вероятностью пассивации поверхности электрода вследствие адсорбции молекул растворителя или продуктов его восстановления. Это обстоятельство создает дополнительные трудности для выделения металла на пассивированной поверхности.

Важным свойством растворителя, определяющим его применение в электрохимической технологии, является также его электрохимическая устойчивость. Если осаждение металла происходит при потенциалах более отрицательных, чем потенциал разряда ионов водорода то в протонных растворителях наряду с основным процессом будет наблюдаться выделение водорода. Поэтому при электроосаждении металлов, обладающих достаточно отрицательными стандартными потенциалами, следует использовать апротонные растворители, которые не содержат протонного атома

1. Физические константы важнейших органических растворителей

Растворитель	$t_{пл}$, °C	$t_{кип}$, °C, при давлении 0,1 МПа	ϵ , при 25 °C	Динамическая вязкость η , Па·с	Удельная электропроводимость $\chi \cdot 10^9$, См/м	Донорное число растворителя
Ацетон	-95,3	56,2	37,8	0,295	$1,7 \cdot 10^{-9}$	17,9
Ацетонитрил	-43,8	81,6	37,3	0,328	$2,9 \cdot 10^{-8}$	14,1
Бензол	-5,5	80,1	2,3	—	—	0
Диметилацетамид	-20,0	163,5	37,8	0,02	—	27,8
Диметилсульфоксид	-18,5	189,0	48,9	2,603	$3,0 \cdot 10^{-8}$	29,8
Диметилформамид	-38,0	153,0	36,7	0,796	$3,0 \cdot 10^{-8}$	26,6
Диэтиловый эфир	-116,0	34,6	4,2	0,224	—	19,2
Диэтиловый эфир	-97,8	65,0	32,6	0,445	$1,3 \cdot 10^{-9}$	19,0
Метанол	-97,8	65,0	32,6	0,445	$7,0 \cdot 10^{-8}$	—
<i>N</i> -Метилацетамид	-29,7	202	175,7	3,110	$1,0 \cdot 10^{-6}$	27
<i>N</i> -Метилформамид	-3,8	180	182,4	1,63	—	4,4
Нитробензол	-5,8	210,8	34,8	0,627	$5,0 \cdot 10^{-9}$	2,7
Нитрометан	-28,5	101,1	38,6	0,878	$3,0 \cdot 10^{-10}$	33,1
Пиридин	-41,8	110,0	12,3	2,33	—	—
Пропиленкарбонат	-48,8	241,7	65,1	2,33	—	20,0
Тетрагидрофуран	-65,0	66,4	2,4	—	—	0
Толуол	-95,0	110,6	2,4	—	$1,0 \cdot 10^{-6}$	24
Формамид	-2,5	210	109,5	3,302	$1,3 \cdot 10^{-7}$	—
Этиленгликоль	-13,0	198	37,7	13,5	$1,35 \cdot 10^{-9}$	20
Этанол	-114,5	78,3	24,3	1,08	—	—

водорода. Эти растворители имеют высокую электрохимическую устойчивость и не восстанавливаются до потенциалов $-3,0 \div -3,5$ В.

АЛЮМИНИРОВАНИЕ

Процесс алюминирования используется при производстве телескопических отражателей, немагнитных оптических систем и элементов микроэлектроники.

Разработано достаточно большое количество электролитов алюминирования; наиболее перспективными в практическом отношении являются эфирно-гидридные, алкилбензолные и металлоорганические электролиты.

Все электролиты алюминирования должны в той или иной степени быть изолированы от прямых контактов с атмосферой, что требует создания ванны специальной конструкции.

Эфирно-гидридные электролиты наиболее исследованы, а их различные модификации применяются в практике. Ванна на основе диэтилового эфира состоит из следующих компонентов (М):

AlCl₃, безводный 2-3
LiAlH₄ 0,13-0,4
диэтиловый эфир до 1 л

Режим осаждения: $i_k = 1-5$ А/дм²; $t = 20-30$ °C; катодный выход по току 90-100 %, анодный — 100 %; аноды — алюминиевые,

диэтилового эфира в электролите может быть заменен на LiH, и тогда вместо 0,4 М LiAlH₄ в ванну должно быть добавлено 1 М LiH.

При комнатной температуре и $i_k = 5$ А/дм² осаждаются плотные осадки алюминия до толщины 0,5 мм и более. Для получения толстых покрытий рекомендуется непрерывное перемешивание электролита и фильтрация. Реверсирование тока также способствует получению гладких покрытий. Режимы реверсирования следующие: $i_k = 3$ А/дм², $i_a = 12$ А/дм², $t_k/t_a = 20:1$, полный цикл ($t_k + t_a$) 1 мин и более; или $i_k = 2,5$ А/дм², $i_a = 7,5$ А/дм², $t_k = 40$ с, $t_a = 10$ с; или $i_k = 0,5$ А/дм², $i_a = 2$ А/дм², $t_k = 10$ мин, $t_a = 1$ мин.

Продолжительность работы ванны зависит от концентрации AlCl₃ и плотности тока. При концентрации 3 М AlCl₃ и 0,4 М LiAlH₄ продолжительность работы электролита достигает 100 А·ч/л. Применение диафрагм, разделяющих анодное и катодное пространство, и периодическое введение в раствор LiAlH₄ позволяют увеличить ресурс работы ванны до 800 А·ч/л.

По своим физико-механическим свойствам полученные покрытия близки к электрокаталитическим маркам алюминия высокой чистоты.

При приготовлении эфирно-гидридных электролитов производится отдельное растворение $AlCl_3$ и $LiAlH_4$ в диэтиловом эфире. Если объем приготовляемого раствора менее 1 л, $AlCl_3$ может быть добавлен в эфир или эфир к $AlCl_3$. При приготовлении больших объемов $AlCl_3$ должен добавляться в эфир, так как в противном случае имеет место значительное повышение температуры, приводящее к декомпозиции электролита. Поэтому при добавлении $AlCl_3$ к эфиру необходимо охлаждение.

Литийалюмогидрид растворяется в диэтиловом эфире с трудом, поэтому необходимо его кипячение с использованием обратного холодильника в течение 4–6 ч, в результате чего образуется раствор $LiAlH_4$ с концентрацией 1,8–2,0 М. В нижней части сосуда всегда имеется осадок нерастворимого $LiAlH_4$. После фильтрации в инертной атмосфере раствор может быть доведен вакуумной сушкой до концентрации $LiAlH_4$ 5 М. В полученном растворе необходимо аналитически определить концентрацию $LiAlH_4$.

Окончательное приготовление электролита производится добавлением при перемешивании концентрата $LiAlH_4$ к раствору $AlCl_3$ в эфире. Добавление первых порций раствора $LiAlH_4$ должно быть выполнено осторожно (необходимо охлаждение), поскольку $LiAlH_4$ энергично реагирует со следами воды и HCl , которые могут содержаться в растворе.

При смешивании двух растворов в ванне образуется нерастворимый осадок $LiCl$, который необходимо отфильтровать. После полного анализа ванны и корректировки она готова к работе.

Подготовка поверхности деталей имеет важное значение при использовании неводных электролитов. Одним из рекомендуемых способов подготовки поверхности перед алюминированием является химическое или анодное травление железа, стали, кобальта, никеля, меди в исключительных насыщенных раствором соляной кислоты, фосфатов, азотной кислоты и плавиковой кислоты. На эти металлы также можно проводить анодное травление в растворах азотной, хлорной, соляной,

бензойной кислоты в диэтиловом эфире. При этом начало процесса электроосаждения (включение рабочего тока) синхронизируется с растворением кислоты в электролите.

Подготовка поверхности мелких деталей перед алюминированием заключается в следующем:

1. Ледяная обработка при -60 – $-70^\circ C$ в водном растворе, содержащем H_2CO_3 (25 г/л) и Na_2SiO_4 (25 г/л), плотность тока 1 А/дм²;

2. Декапирование в растворе (объем, %): H_2SO_4 (3), H_2O_2 (2), H_2C (4); обработка в 10 % ном растворе калийной кислоты в эфире.

Предлагается также проводить анодное декапирование деталей из какой-либо предварительно обработанной в том же растворе, в котором производится их алюминирование. Например, для углеродистой стали рекомендуется анодное декапирование 4–6 мин при $i_a = 1$ А/дм² в ванне без тока в ванне в течение 4–6 мин и алюминирование при $i_a = 1$ А/дм² для коррозионно-стойкой стали — декапирование 2–3 мин при $i_a = 1$ А/дм² и затем быстрое включение тока на катодный режим (1 А/дм²). Такая же обработка рекомендуется и для нанесения покрытий на титан, с той лишь особенностью, что электролит алюминирования помимо основных компонентов должен содержать 1 г/л безводного $FeCl_3$.

Анализ электролита.
Определение концентрации $AlCl_3$. Поскольку $LiCl$ не растворяется в диэтиловом эфире, то концентрацию алюминия в виде $AlCl_3$ определяют по концентрации хлоридов.

Ход анализа следующий:
1 мл анализируемого раствора переносится в 250 мл сухую колбу Эрленмейера (операция производится в сухом боксе); колбу извлекают из бокса и добавляют 10–15 мл дистиллированной воды (осторожно!); добавляют 5 мл разбавленного HNO_3 (1:1) и 25 мл ледяной CH_3COOH ; раствор перемешивают;

добавляют 2 перемешиванием избыток стандартного раствора $AgNO_3$ (0,4–0,5 М); добавляют 3 мл индикатора $Fe(NO_3)_3$ и титруют 0,1 М раствором $KSCN$ (кислотная точка титрования — красноватого коричневого окраска раствора).

Расчет концентрации $AlCl_3$ (М) производится по формуле

$$C_{AlCl_3} = 1/3 (C_{AgNO_3} V_{AgNO_3} - C_{KSCN} V_{KSCN}),$$

где C — в М, V — в мл.
Определение концентрации алюминия производится следующим образом:

1 мл анализируемого раствора переносится в 250 мл сухой стакан (операция производится в сухом боксе); стакан извлекают из бокса и добавляют избыток дистиллированной воды (осторожно!) и 5 мл 2М раствора HNO_3 , кипятят 2 мин; добавляют избыток стандартного 0,05 М раствора ЭДТА; доводят рН раствора до 3–4 2М раствором NH_4OH , кипятят 1 мин; добавляют несколько граммов гексаметилентетрамина, 1 мл раствора (0,01 г/л) индикатора ксиленолового оранжевого и титруют стандартным 0,05 М раствором $Zn(CH_3COO)_2$ до изменения окраски от желтой в розовую.

Расчет концентрации алюминия (М) производится по формуле

$$C_{Al} = C_{ЭДТА} V_{ЭДТА} - C_{Zn(CH_3COO)_2} V_{Zn(CH_3COO)_2},$$

где C — в М, V — в мл.
Определение концентрации $LiAlH_4$ выполняют в следующем порядке: в сухом боксе в колбу с притертой пробкой емкостью 250 мл пипеткой помещается 30 мл 0,4 М раствора J_2 в осушенном бензоле;

в раствор J_2 вводят 1 мл анализируемого электролита или 0,2 мл концентрата $LiAlH_4$ в эфире; колба извлекается из бокса и избыток J_2 оттитровывается стандартным 0,1 М раствором $Na_2S_2O_8$, первые порции которого должны быть добавлены быстро с энергичным перемешиванием; по мере обесцвечивания раствора уменьшают скорость титрования, добавляют раствор крахмала и продолжают титровать до обесцвечивания раствора.

Расчет концентрации $LiAlH_4$ в М производится по формуле

$$C_{LiAlH_4} = \frac{0,5 C_{J_2} V_{J_2} - 0,25 C_{Na_2S_2O_8} V_{Na_2S_2O_8}}{V_{пробы}}$$

где C — в М, V — в мл.

Концентрация активного гидридного водорода может быть определена также объемным газовым методом по количеству водорода, образуемого при взаимодействии анализируемой пробы с водой.

Большой интерес представляет использование в качестве растворителя вместо диэтилового эфира тетрагидрофурана (ТГФ). Применение ТГФ позволяет снизить пожароопасность эфирно-гидридной ванны и значительно повысить рабочие плотности тока. В зависимости от соотношения компонентов допустимая плотность тока может быть увеличена до 20 А/дм², в то время как в электролите на основе диэтилового эфира качественные покрытия осаждаются до плотностей тока не выше 5 А/дм².

Рекомендуется также использовать не чисто ТГФ-ванны, а смесь растворителей ТГФ — ароматический углеводород, в качестве которого могут служить бензол, толуол, хлорбензол и т. д. Состав электролита, содержащего бензол, приведен ниже (М):

$AlCl_3$, безводный	1,25
$LiAlH_4$	0,25
растворитель до 1 л:	
тетрагидрофуран, об. доля, %	80
бензол, об. доля, %	20
Режим электроосаждения:	$i_a = 20 \pm 25^\circ C$; $i_a = 1-20$ А/дм ² ; ВТ = $\sim 100^\circ C$.

Возможна также замена $AlCl_3$ на $AlBr_3$.

Приготовление электролитов осуществляется так же, как и электролитов на основе диэтилового эфира. Однако использование ароматических углеводородов облегчает приготовление электролита алюминирования, поскольку в присутствии углеводородов реакция взаимодействия галогенида алюминия с эфиром протекает менее энергично.

В производственных условиях ТГФ-электролиты готовят пропуская безводного хлористого водорода в раствор, содержащий алюминиевую фольгу или стружку и растворитель (ТГФ или его смесь с ароматическим углеводородом). Литийалюмогидрид вводится в электролит после полного растворения Al и удаления избытка HCl .

Анализ ТГФ-электролита на содержание в нем различных компонен-

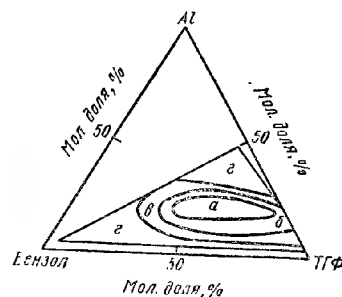


Рис. 1. Влияние состава ТГФ-электролита на величину допустимых плотностей тока (A/dm^2) при постоянном соотношении $AlCl_3 : LiAlH_4 = 7,5$. а — 70, б — 50, в — 30, г — 10, д — < 10

тов производится аналогично растворам на основе дитиолового эфира, с той лишь разницей, что концентрации $AlCl_3$ находят по разности концентраций общего количества алюминия и алюминия в виде $LiAlH_4$. Это обусловлено тем, что в отличие от дитиолового эфира $LiCl$ хорошо растворяется в ТГФ.

В последнее время появились еще более концентрированные по алюминию ТГФ-электролиты, которые позволяют значительно интенсифицировать процесс. Один из рекомендуемых электролитов имеет следующий состав (М):

$AlCl_3$, безводный	2,5—3
$LiAlH_4$	0,35—0,42
растворитель до 1 л:	
тетрагидрофуран, об.	
бензол, об. доля, %	50
бензол, об. доля, %	50

Режим осаждения: $t = 40-50^\circ C$; $i_k = 5-50 A/dm^2$; $VT = \sim 100\%$.

На рис. 1 представлена тройная диаграмма системы Al — ТГФ — бензол, на которой показаны области допустимых катодных плотностей тока при алюминировании. Применение высоких плотностей тока предусматривает непрерывное перемешивание растворов и повышение температуры электролита до $50^\circ C$.

Алкилбензолные электролиты представляют собой растворы безводного $AlBr_3$ (2,5—3,3 М) в ароматическом углеводороде или их смеси. В качестве

ароматического углеводорода могут быть использованы ксилол, этилбензол, диэтилбензол, мезитилен или смеси этилбензол — толуол (1:1), этилбензол — ксилол (1:1) и др. Электролит готовят простым растворением при перемешивании $AlBr_3$ в углеводороде (нагревание или охлаждение раствора не требуется).

Свежеприготовленные растворы имеют низкое значение электропроводности, и для получения сплошных, ровных алюминиевых покрытий требуется проработка электролитов постоянным током (2—3 А·ч/л) с алюминиевыми анодами, в результате чего возрастает их электропроводность и соответственно катодный выход по току (рис. 2). После проработки электропроводность растворов достигает значений $\sim 0,3$ См/м, а выход по току $\sim 80\%$ при $i_k = 1 A/dm^2$. Аналогичный выход по току практически не зависит от количества пропущенного электричества и составляет 100 %.

Рабочие плотности тока в этих электролитах 1—1,5 A/dm^2 , что соответствует скорости осаждения алюминия 8—10 мкм/ч. При увеличении плотности тока катодный выход по току алюминия падает.

Различные в величинах катодного и анодного выходов по току приводят к повышению концентрации алюминия в электролите и в итоге к выходу из строя ванны. Контроль состава электролита рекомендуется осуществлять по величине удельной электропроводности, поддерживая ее в пределах 0,3—0,4 См/м, так как в этом интервале катодный выход по току максимален, а анодный — немногим более 100 %. При уменьшении электропроводности

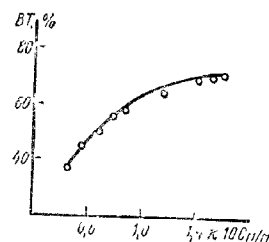


Рис. 2. Зависимость выхода по току алюминия от электропроводности раствора (этилбензолный электролит)

мости раствора ниже 0,3 См/м состав ванны следует скорректировать путем пропускания через раствор сухого бромистого водорода в количестве, необходимом для стехиометрического связывания алюминия. В результате такой корректировки электропроводность раствора и катодный выход по току алюминия вновь возрастают.

Для получения мелкокристаллических покрытий в электролиты рекомендуется вводить добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ), количество которых используются силиконовый каучук СКТВ-1 (2,5—11 г/л), полиэтилсилоксановая жидкость ПЭС-5 (2,5—11 г/л) или полиэтилгидроксилсилоксановая жидкость ГЖ-94 (6,7 г/л), парафин (5—7 г/л).

Улучшение качества осадков достигается также непрерывным перемешиванием раствора, введением в электролит галогенидов щелочных металлов (KBr , $LiBr$) в количестве 0,2—1 М и тетраалкиламмониевых солей. При добавлении в электролит 0,5 г/л $(C_4H_9)_4NJ$ осаждаются блестящие покрытия.

Составы некоторых алкилбензолных электролитов представлены в табл. 2.

Продолжительность работы электролитов достигает 100 А·ч/л и в значительной степени зависит от количества влаги, попадающей в раствор. Наличие микроколичеств воды в ал-

килбензолных электролитах способствует повышению электропроводности раствора и улучшению качества покрытий.

Из указанных электролитов могут быть получены покрытия толщиной до 40 мкм (в электролитах с ПАВ). Содержание алюминия в осадке колеблется от 98 до 99,9 % в зависимости от типа используемого электролита. Микропористость покрытий снижается с увеличением их толщины, и покрытия толщиной свыше 10 мкм практически беспористы. Микротвердость алюминиевых осадков составляет 20—30, внутренние напряжения до 0,2 МПа, удельное электроотталкивание 0,040 Ом·мм²/м. В присутствии ПАВ микротвердость и внутренние напряжения осадков возрастают.

Алкилбензолные электролиты также могут готовиться непосредственным растворением металлического алюминия (99,99 %) в ароматическом углеводороде, например в толуоле, при одновременном пропускании через раствор сухого бромистого водорода. Скорость пропускания HBr должна быть такой, чтобы температура раствора не превышала $30^\circ C$. Бромистый водород пропусают до тех пор, пока 95 % всего металлического алюминия не растворится, на что требуется около 1,5 сут. Далее раствор декантируется, и газообразный HBr вновь медленно пропускается до достижения электропроводности раствора 0,3—0,4 См/м.

2. Составы алкилбензолных электролитов алюминирования (г/л) и режимы осаждения

Компоненты электролита и режим	№ электролита			
	1	2	3	4
$AlBr_3$	600	600	800	700
Силиконовый каучук	6,8	—	—	—
Жидкость ПЭС-5	—	2,5	—	21
KBr	—	—	—	2,5
$(C_4H_9)_4NJ$	—	—	0,5	—
$(C_4H_9)_4NJ$	—	До 1	До 1	—
Этилбензол — ксилол (1:1), л	—	—	—	—
Этилбензол — кумол (9:1), л	До 1	—	—	—
Ксилол о., м., п-изомеры (1:1:1), л	—	—	—	До 1
Этилбензол — толуол (1:1), л	—	—	—	—
$t, ^\circ C$	20—25	20—25	20—30	20—25
$i_k, A/dm^2$	1,25	1,5	0,5—1	1—2
Реверсирование, с	—	—	—	$\tau_k : \tau_a = 55 : 5$

После приготовления электролит имеет следующий состав (М):

AlBr ₃	3,0—4,2
НВг	0,01—0,1
толуол или бромид толуола	до 1 л
Режим осаждения: $i_k = 20 \pm 25$ А/дм ² ; $t_k = 3,5$ А/дм ²	$t = 20 \pm 25$ А/дм ² ; $t_k = 3,5$ А/дм ²

Алюмоорганические электролиты в качестве основного компонента содержат $Al(C_2H_5)_3$ и имеют состав (М):

NaF · 2Al(C ₂ H ₅) ₃	1
толуол	3,4

Режим осаждения: $i_k = 1$ А/дм²; $i_v = 0,5 \pm 0,8$ А/л; ВТ = 90—100 %; электропроводность ванны 0,15 См/м; напряжение на ванне 3—30 В.

Рекомендуется осаждение в импульсном режиме: частота импульсов 50 Гц, соотношение $t_k/t_a = 5:1$.

При работе с $Al(C_2H_5)_3$ необходимо соблюдать осторожность, поскольку он легко реагирует с кислородом, приводя к воспламенению продуктов, его концентрированные растворы реагируют с водой со взрывом.

Соединение $NaF \cdot 2Al(C_2H_5)_3$ готовится в инертной атмосфере путем нагревания стехиометрических количеств безводного NaF и $Al(C_2H_5)_3$ при температуре 120 °С. После охлаждения к полученной однородной жидкости добавляют толуол.

В полученном электролите возможно получить гладкие осадки толщиной до 0,5 мм. Твердость покрытий может быть повышена анодированием. Электролит чувствителен к влаге и кислороду.

Применение органических электролитов алюминирования требует использования герметичных электролитических ванн. Разработан целый ряд электролизеров такого типа, имеющих шлюзовые камеры и позволяющих вести непрерывное осаждение алюминия на проволоку, ленту и т. п. Кроме того, имеются ванны колокольного и барабанного типа, исключающие контакт электролита с окружающей атмосферой при загрузке и выгрузке деталей.

Материалами для изготовления корпусов ванн, а также насосов, фильтров, смесителей могут служить коррозионно-стойкая сталь, никель, фторопласт, в некоторых случаях — полиметилметакрилат.

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ БЕРИЛЛИЯ, МАГНИЯ, ГЕРМАНИЯ

Бериллиевые покрытия отличаются высокой коррозионной стойкостью при повышенных температурах. Металлические покрытия, содержащие 93—95 % Ве, получены из электролита, содержащего (М):

(CH ₃) ₂ Be	3
BeCl ₂	0,9—2,4
диэтиловый эфир	до 1 л

Режим осаждения: $i_k = 0,1 \pm 0,15$ А/дм²; напряжение на ванне 18—20 В.

Покрытия, содержащие 70 % Ве и 30 % В, осаждаются из 6 М раствора $Be(BH_4)_2$ в диэтиловом эфире при комнатной температуре и $i_k = 0,6$ А/дм².

Сплав Ве — Al, содержащий до 57 % Ве, может быть получен в растворе $Be(AlH_3)_2$ и $BeCl_2$ в диэтиловом эфире при комнатной температуре и $i_k = 0,5$ А/дм².

Гладкие и пластичные осадки магния осаждаются из эфирных электролитов в присутствии декаборана. Раствор для осаждения получают взаимодействием металла лития с декабораном ($B_{10}H_{12}$), растворенным в тетрагидрофуране. Раствор состоит из двух слоев: верхний слой после отсепарации и испарения безводным $MgCl_2$ используют для осаждения магния при $i_k = 0,1 \pm 1,0$ А/дм², катодном и анодном выходе по току ~100 %. Осадки магния содержат до 1 % В.

Электролит работает при отсутствии влаги и может быть откорректирован добавлением насыщенного раствора $MgCl_2$ в тетрагидрофуране.

Германий находят применение в полупроводниковых приборах. Покрытия германия обладают высокой коррозионной стойкостью.

Металлические осадки германия получены в этиленгликоле, содержащем 10—100 г/л GeJ_4 при $i_k = 2,5$ А/дм² и $t = 100 \pm 150$ °С; ВТ = ~45 %.

Из пропиленгликолевых ванн, содержащих (об. доля, %) $GeCl_4$, можно получить покрытия толщиной до 120 мкм, при $t = 60$ °С, $i_k = 20 \pm 40$ А/дм², ВТ = ~0,8 %. По сравнению с этиленгликолевыми электролитами пропиленгликолевые ванны

позволяют работать с графитовыми анодами и в меньшей степени поглощают влагу из атмосферы.

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ТИТАНА, МОЛИБДЕНА, НИОБИЯ

Выделение этих металлов как из водных, так и неводных электролитов чрезвычайно затруднено. Осаждение их возможно только в виде тонких пленок <1 мкм или в виде сплавов с другими металлами, причем образующиеся пленки в большинстве своем представляют смесь окислов.

Из неводных сред пленки титана (0,02 мкм) могут быть получены из растворов $TiCl_4$ в диметилсульфоксиде или его смеси с этиловым спиртом. Анализом установлено наличие в пленке до 20 % Ti. Пленки титана могут быть получены также восстановлением титаноорганического комплекса в электролите следующего состава (г/л):

титаноорганический комплекс (бисацетилацетиленат тетрагидрида титана)	26—30
диэтиловый эфир, мл	250—750
формамид, мл	750—250
вода, мл	15—20

Режим осаждения: температура комнатная; $i_k = 0,001 \pm 0,002$ А/дм²; СП = 5 : 8 г/(м²·ч).

Пленки молибдена получены в формамидных растворах, содержащих до 5 г/л Na_2MoO_4 в присутствии добавок сульфат-ионов при отношении $Na_2MoO_4 : SO_4^{2-} = 100 \pm 200$ и $i_k = 0,017 \pm 0,08$ А/дм².

Осадки молибдена совместно с его окислами осаждаются также в формамидных растворах, имеющих следующий состав (г/л):

фосфоромолибденовая кислота	50
лимонная кислота	5—10
H_2O_2 (30 %), мл/л	20
NH_4Cl	10
формамид, л	до 1

Режим осаждения: $i_k = 2 \pm 8$ А/дм²; температура комнатная.

Для осаждения ниобия рекомендуются раствор следующего состава (г/л):

$NbCl_5$	10—15
сложный эфир уксусной кислоты	20—30
растворитель до 1 л: метанол, об. доля, %	3: 50
бензол, об. доля, %	7: 50

Режим осаждения: $t = 40 \pm 50$ °С; $i_k = 0,5 \pm 1,5$ А/дм².

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ МЕДИ, ЦИНКА, КАДМИЯ

Осаждение этих металлов из органических электролитов может иметь определенное значение с точки зрения получения покрытий с определенными физико-химическими свойствами. Кроме того, в некоторых случаях гальванические процессы в органических средах могут быть более технологичны, чем в водных.

Для электроосаждения меди используется большое число растворителей, таких, как пиридин, фурфурол, формамид, метанол, ацетон и др.

Составы органических электролитов меди приведены в табл. 3.

Для электроосаждения цинка используют формамидные и диметилформамидные электролиты. Осаждение цинка проводилось с целью получения защитных покрытий на уране в растворе следующего состава (г/л):

7н $(CH_3COO)_2$	200
CH_3COOK	200
формамид, л	до 1

Режим осаждения: $t = 25 \pm 45$ °С; $i_k = 0,3 \pm 0,5$ А/дм²; процесс реконспирации вести с перемешиванием тока; $t_k = 20$ с, $t_a = 10$ с.

Цинк осаждается из водно-диметилформамидных растворов, имеющих следующий состав (г/л):

$ZnCl_2$	136—273
NH_4Cl	16—17
растворитель до 1 л: H_2O , об. доля, %	10—60
F_2O , об. доля, %	50—40

Режим осаждения: pH 1,5—5; $t = 0 \pm 60$ °С; $i_k = 0,1 \pm 0,5$ А/дм².

3. Составы электролитов меди (г/л) и режимы осаждения

Компоненты электролита и режим	М электролита		
	1	2	3
$Cu(CH_3COO)_2$	60	—	—
$Cu(CH_3COO)_2$	—	200	—
$CuCl_2$	—	—	40
NH_4Cl	—	—	40
CH_3COONH_4 , мл	800	—	—
Пиридин, мл	200	—	—
Формамид, л	—	До 1	—
Диметилформамид (DMF), мл	—	—	60
Диметилсульфоксид (DMSO), л	—	—	До 1
t , °С	50—60	25	71—93
i_k , А/дм ²	0,65	3—16	0,2—2,4
ВТ, %	60	100	—

4. Составы электродитов кадмирования (М) и режимы осаждения

Компоненты электродита и режим	№ электродита		
	1	2	3
CrCl ₃ · 6H ₂ O (CrCl ₃) ₂ · 6H ₂ O NiCl ₂ · 6H ₂ O HClO ₄ (ρ = 1,63 г/см ³) Питоновин- лаксидин Диметилформамид, об. доля, %	0,4 — — — — До 1	1,17 0,3 — — — До 1	0,2 — — 0,8 0,02 До
t, °C	18—25	30—	15—25
i _к , А/дм ²	20—25	100	1
ВТ, %	70—90	100	100

Кадмий достаточно легко может быть выделен из многих органических растворителей, так как имеет высокий положительный потенциал. Составы электродитов кадмирования приведены в табл. 4.

В электродите № 1 могут быть получены качественные осадки толщиной 120 мкм. Наводороживание стали У8А при кадмировании в электродите № 3 в 7 раз ниже, чем в стандартном водном цинкстом электродите. Рассеивающая способность электродита № 3 по Хернунгу составляют около 70 %.

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ХРОМА

Электроосаждение хромовых покрытий из органических растворителей представляет значительный интерес

В связи с возможностью повышения выхода по току, улучшения физико-химических свойств осадков и снижения наводороживания основы. В этой связи большое внимание уделяется электролитам хромирования на основе солей трехвалентного хрома в диметилформамиде (ДМФ), так как они нетоксичны и в перспективе более экономичны и технологичны по сравнению с электролитами, содержащими соли шестивалентного хрома. Эти электролиты не являются чисто органическими, поскольку содержат до 50 % воды, что снижает их пожароопасность. В состав электродита также входят для стабилизации NiCl₂ · 6H₂O и H₂BO₃. Для устранения вредного влияния на электродит выделяющийся на аноде хлор рексимируется разложением анодного и катодного пространств пористыми диафрагмами. Анолитом служит водный раствор ацетата натрия или аммония, аноды — графитовые.

Электролиты работают при комнатной температуре, скорость осаждения хрома в 6 раз выше по сравнению со стандартными электролитами на основе шестивалентного хрома. Составы электродитов хромирования на основе трехвалентного хрома приведены в табл. 5.

Эти электролиты при насыщении дают блестящие декоративные хромовые покрытия толщиной 1—5 мкм.

Электролиты на основе трехвалентного хрома могут быть использованы для осаждения сплавов Cr—Ni и

Cr—Fe. Сплав Cr—Ni с содержанием хрома до 70 % можно получить из электролита следующего состава:

CrCl ₃ · 6H ₂ O	1,0
NiCl ₂ · 6H ₂ O	0,25
NH ₄ Cl	0,75
H ₂ BO ₃	0,16
растворитель до 1 л:	
CH ₃ OH, об. доля, %	25
ДМФ, об. доля, %	37,5
H ₂ O, об. доля, %	37,5
Режим осаждения:	t = 70 ± 75 °C; i _к = 100 ± 150 А/дм ² .

Из указанного электролита могут быть получены покрытия толщиной до 35 мкм. Повышение концентрации метанола в растворе способствует увеличению содержания никеля в осадке, и, наоборот, при увеличении концентрации ДМФ возрастает в осадке содержание хрома. Осаждаемые покрытия являются неоднородными по своему составу.

Для осаждения сплава Cr—Fe рекомендуется следующий состав электродита (М):

CrCl ₃ · 6H ₂ O	1,4
FeCl ₃ · 4H ₂ O	0,25—0,5
NH ₄ Cl	1,0
H ₂ BO ₃	0,07
растворитель до 1 л:	
ДМФ, об. доля, %	40
H ₂ O, об. доля, %	60

Режим осаждения: pH 1,4—2,4; t = 20—40 °C; i_к = 2—30 А/дм²; рекомендуется перемешивание.

Содержание хрома в сплаве меняется от 18 до 57 % в зависимости от плотности тока и концентрации железа в растворе, выход по току 21—46 %.

До толщины 5 мкм осадки получаются блестящими, а при большей толщине становятся матовыми.

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ЖЕЛЕЗА, КОБАЛЬТА, НИКЕЛЯ

Сведения об электроосаждении железных и кобальтовых покрытий относятся в основном к изучению механизма этих процессов, в то время как данные о получении качественных осадков весьма ограничены. Лишь осаждению блестящих никелевых покрытий уделяется достаточно внимания.

Блестящие осадки железа могут быть получены при 25 °C и плотности тока 0,5—10 А/дм² в растворе триэтиламина, содержащем FeSO₄ и NaOH. Для осаждения кобальта рекомендуется электролит следующего состава (Г, 2):

Co(CH ₃ COO) ₂	100—350
HClO ₄ (ρ = 1,63 г/см ³)	150—500
ацетон	до 1 л
Режим осаждения:	t = 10—40 °C; i _к = 1,0 ± 2,5 А/дм ² ; ВТ = 70—100 %.

В качестве растворителей для электроосаждения никеля используются уксусная кислота, ацетон, этиленгликоль, метанол. Составы органических электролитов никелирования представлены в табл. 6.

В этих электролитах осаждаются блестящие осадки никеля. Электролит № 1 обладает тем достоинством, что никелевые аноды в нем растворяются равномерно, без образования шлама.

5. Составы электродитов хромирования (М) и режимы осаждения

Компоненты электродита и режим	№ электродита			
	1	2	3	4
CrCl ₃ · 6H ₂ O	0,03	—	0,8	1,4
Cr(OH) ₃ Cl ₂ Cl	—	1,0	—	—
H ₂ BO ₃	0,15	0,13	0,75	0,15
MgCl ₂	0,2	—	—	—
NH ₄ Cl	1,0	0,93	1,5	1—1,5
NaCl	—	1	—	0,8
NaH ₂ PO ₄ · H ₂ O	—	—	0,75	—
Цетилакриламидолил- мистил, г/л	—	—	—	0,01
Диметилформамид, об. доля, %	40	50	10—25	50
pH	1,2—1,4	1—	1,5—1,0	1,2
t, °C	10—20	15—30	25	25
i _к , А/дм ²	10—20	1—20	0,5—100	20
ВТ, %	35	50	40	40

6. Составы электродитов никелирования (Г, 2) и режимы осаждения

Компоненты электродита и режим	№ электродита				
	1	2	3	4	5
NiCl ₂	310	—	—	—	—
Ni(CF ₃ COO) ₂	—	500	80—100	—	—
Ni(BF ₄) ₂	—	—	—	200	200
H ₂ BO ₃	30	—	—	—	—
NH ₄ Br	—	50	—	—	До 1
ацетон, л	До 1	—	—	—	—
Этиленгликоль, л	—	До 1	—	—	—
Метанол, л	—	—	До 1	—	—
Формамид, л	—	—	—	До 1	—
Уксусная кислота, л	—	—	—	—	—
t, °C	15	50	60	20	15
pH	2,5—3,5	—	—	—	—
i _к , А/дм ²	2—10	6—22	0,5—2	0,1—3,0	0,15—2,0
ВТ, %	100	100	50	85—90	90

КОНТАКТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Использование органических растворителей дает новые возможности для контактного осаждения металлов и сплавов, особенно на такие активные металлы, как алюминий и магний. Основным затруднением при нанесении покрытий на эти металлы является наличие на их поверхности пленки окислов, препятствующих качественному сцеплению покрытия с основой. Использование неводной среды позволяет исключить дополнительную операцию — цинкование обработки и добиться высокой адгезии покрытия к основе.

Нанесение контактного покрытия сплавом In—Sn на магний, алюминий и их сплавы производится из безводного ацетамида, содержащего (М):

InCl ₃ , безводный	0,1—0,45
SnCl ₄ , безводный	0,1—0,45
ацетамид	до 1

Режим осаждения: $t = 145 \pm 15^\circ\text{C}$; за 1,5—2 мин на алюминий осаждается 3—15 мкм, на магний

40—70 мкм сплава, содержащего 12—18 % Sn.

Электролит готовится простым растворением обезвоженных хлоридов индия и олова в ацетамиде при 90—95 °С.

Контактное меднение алюминия производится в растворе следующего состава (г/л):

CuCl ₂	16—20
HCl ($\rho = 1,115 \text{ г/см}^3$)	19—215
2-замещенные перимидина	0,1—0,5
H ₂ O	10—200
триметилфосфат	до 1

Режим осаждения: температура комнатная; за время контакта 15—30 мин осаждается покрытие толщиной 7—10 мкм.

Для контактного осаждения титана на сталь предложен раствор следующего состава (мл):

TiCl ₃ (0,1 водный раствор)	150—200
метанол	800—850
бензилдиазола производные, г.	0,1—0,2

Режим осаждения: температура комнатная; за время контакта 10—30 мин осаждается покрытие толщиной 5—10 мкм.

Глава 17.

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

К неметаллическим неорганическим покрытиям, состоящим из неорганических соединений металлов, относятся фосфатные, окисные, хроматные и другие покрытия. Обозначение их проводится в соответствии с ГОСТ 9.073—77*.

ФОСФАТИРОВАНИЕ

Химическому фосфатированию могут подвергаться углеродистые, низколегированные и среднелегированные стали, чугун, алюминиевые и магниевые сплавы, цинковые и кадмиевые покрытия и др.

Сущность химического фосфатирования состоит в обработке металлов и сплавов в подкисленных растворах однозамещенных фосфатов или монофосфатов Fe, Mn, Zn, Ba, Ca и др.

Процесс химического фосфатирования обусловлен гидролизом однозамещенных фосфатов металлов, в результате чего устанавливается равновесие между одно-, двух-, трехзамещенными фосфатами металлов и H₃PO₄.

Образующаяся при этом свободная H₃PO₄ в процессе фосфатирования взаимодействует с основным металлом, в результате чего образуются труднорастворимые двух- и трехзамещенные фосфаты, являющиеся основной составляющей частью фосфатных пленок.

На качество фосфатных пленок оказывают влияние общая (K_с) и свободная (K_{св}) кислотности фосфатирующего раствора, состав его, подготовка поверхности металла и технологические параметры (температура фосфатирующего раствора, время обработки).

Общая и свободная кислотности фосфатирующего раствора выражаются числом точек, т. е. количеством миллилитров 0,1 н. раствора NaOH, затраченного на титрование 10 мл фосфатирующего раствора. Для определения

общей кислотности раствора титрование производится в присутствии фенолфталеина, а свободной кислотности — в присутствии метилового оранжевого (см. гл. 18).

На состав фосфатных пленок большое влияние оказывает вид катионов фосфатирующего раствора (табл. 1).

Для ускорения процесса фосфатирования в раствор вводят окислители, например NaNO₃, NaNO₂, Zn(NO₃)₂, KBrO₃, KClO₄, в результате чего увеличивается скорость катодного процесса.

Возрастание скорости катодного процесса в присутствии NO₃ вызывает увеличение скорости процесса пленкообразования и значительно уменьшает время формирования фосфатной пленки. Кроме того, в присутствии окислителей катионы Fe²⁺ окисляются до Fe³⁺, которые с анионами PO₄³⁻

1. Влияние вида катионов на фазовый состав фосфатных пленок

Катион	Фазовый состав пленок на	
	сталь	алюм.
Mn ²⁺	$\text{Fe}_3\text{H}_2(\text{PO}_4)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{Mn}_3\text{H}_2(\text{PO}_4)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$
Zn ²⁺	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$ $\text{Zn}_3\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Ca ²⁺	$\text{CaHPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ CaHPO_4	$\text{Zn}_3\text{Ca}(\text{PO}_4)_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ CaHPO_4
Fe ²⁺	$\text{Fe}_3\text{H}_2(\text{PO}_4)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{Zn}_3\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Fe}_3\text{H}_2(\text{PO}_4)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$
Na ⁺	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

образуют FePO_4 . Фосфат железа не окисляется кислородом воздуха, поэтому фосфатные пленки обладают более высокими защитными свойствами.

На качество фосфатных пленок большое влияние оказывает подготовка поверхности металла. Крупнокристаллические фосфатные пленки обычно образуются после травления в кислотах H_2SO_4 , HCl , H_3PO_4 . Эти пленки имеют также и низкие защитные свойства. Так, после травления в 5%-ном растворе H_2SO_4 образуются крупнокристаллические пленки с низкими защитными свойствами: при полном погружении в 3%-ный раствор NaCl коррозия стали появляется через 20 ч.

Пескоструйная очистка обеспечивает получение мелкокристаллической пленки с высокими защитными свойствами: время до начала коррозии стали составляет 60—90 ч. Обработка после травления в растворе Na_2CO_3 (3—5 %-ном) или в растворе NaHCO_3 (5—10 %-ном) с добавкой твердого мыла (1—2 %-ного) улучшает качество фосфатной пленки.

Фосфатные пленки помимо повышенной коррозионной стойкости обладают еще целым рядом ценных свойств: адгезионной способностью, маслоемкостью, электроизоляционными и антифрикционными свойствами.

Фосфатные пленки повышают адгезию лакокрасочных покрытий, что определяется по их поведению в коррозионной среде или при механических испытаниях (удар, изгиб и т. п.).

Влияние предварительной обработки на адгезию лакового покрытия характеризуется усилием отрыва покрытия (МПа):

аэрозольная шлифовальная обработка	0,7—1,0
пескоструйная обработка	1,0—1,2
фосфатирование	2,7—2,9

Высокая прочность сцепления лакокрасочного покрытия с фосфатной пленкой и повышение их защитных свойств связаны со структурной фиксацией покрытий. Связь между фосфатной пленкой и основным металлом осуществляется через тетраэдрический фосфат-анион, один из углов которого — кислород — является общим для обеих фаз.

Структура фосфатной пленки определяет ее пористость, маслоемкость и антифрикционные свойства.

Под маслоемкостью (мг/м^2) понимают степень поглощения фосфатной пленкой наносимого на нее масла. Фосфатная пленка увеличивает степень поглощения масла примерно в 2 раза. Промасливание фосфатной пленки повышает ее защитные свойства: если на нефосфатированной стали в коррозионной камере (разбрызгивание 3 %-ного раствора хлорида натрия) обнаруживается коррозия через 0,1 ч, то на фосфатированной и промасленной — через 40—48 ч.

Наличие на поверхности основного металла фосфатных пленок, наполненных маслом или парафином, резко снижает коэффициент трения. При испытании нефосфатированной, подвергнутой шлифованию стали при напряжении 0,047 МПа схватывание наступит сразу, в то время как фосфатированная сталь в паре с такой же сталью без смазывания удовлетворительно работает в течение 95 мин. При смазывании фосфатированной стали парафином схватывание происходит не раньше чем через 50 ч. В этих условиях коэффициент трения для фосфатированной стали со смазкой много меньше, чем хромированной.

Фосфатные пленки обладают диэлектрическими свойствами, что позволяет использовать фосфатирование для получения электроизоляционного покрытия на деталях трансформаторов, генераторов и т. п. Пропитка фосфатных пленок масляными и бакелитовыми лаками значительно повышает пробивное напряжение.

Фосфатные пленки не смачиваются расплавленными металлами (Sn , Pb и др.).

В настоящее время процесс фосфатирования проводится в стационарных ваннах (окунанием) или в струйных камерах (распылением).

Фосфатирование в растворе соли Мажеф. Для фосфатирования стальных деталей низкой и средней прочности ($\sigma_{\text{в}} < 1400$ МПа) широко используется раствор соли Мажеф. Основными компонентами для составления раствора является монофосфат марганца и железа (II), который готовится препаратом Мажеф и имеет следующий состав (%):

Fe	2,4—2,5
Mn	≥ 14
фосфаты (в пересчете на P_2O_5)	46—52
SOI^* , Cl и CaO	$\leq 0,05$ —0,07

Наиболее совершенные по защитным свойствам фосфатные пленки образуются за 80—90 мин в растворе, содержащем 30—33 г/л препарата Мажеф при температуре 96—98 °C.

Для получения качественных фосфатных пленок общая кислотность раствора должна составлять 28—30 тор, а свободная 3—4 точки. Повышение свободной кислотности фосфатирование в свободной кислотности способствует образованию тонких фосфатных пленок с низкими защитными свойствами. Оптимальное соотношение $K_0 : K_c = 7 : 1$ — $8 : 1$.

Понижение температуры удлиняет процесс образования фосфатных пленок. При этом образуются крупнокристаллические пленки с низкими защитными свойствами.

Продолжительность процесса фосфатирования ограничивается временем, в течение которого прекращается выделение водорода, и дополнительной выдержкой в течение ~10 мин.

Для приготовления раствора соли Мажеф рассчитанное количество препарата Мажеф загружают в ванну с водой, доводят раствор до кипения, после чего выключают обогрев и дают осесть осадку. Затем доводят температуру раствора до 96—98 °C и загружают стальные детали в ванну.

В слое, непосредственно прилегающем к стали, содержится двух- и трехзамещенных фосфатов железа (II) максимально. По мере удаления от стали увеличивается содержание труднорастворимых фосфатов марганца. Содержание в пленке фосфатов марганца почти в 2,5 раза выше, чем фосфатов железа (II).

С увеличением времени экспозиции раствора соли Мажеф в нем накапливаются катионы Fe(II)^+ , усиливающие шлакообразование. Ввиду этого за сравнительно короткий срок раствор соли Мажеф приходит в негодность и требует замены.

Толщина фосфатной пленки, образующейся в растворе соли Мажеф,

может достигать 7—50 мкм. Фосфатные пленки имеют большую прочность сцепления со сталью; микропористую структуру (она хорошо впитывает и прочно удерживает лаки, краски, смазочные материалы); обладает высокими электроизоляционными свойствами (пробивное напряжение достигает 1000 В). Жаростойкость и электроизоляционные свойства фосфатных пленок сохраняются до ~500 °C.

После нагревания при ~350 °C фосфатная пленка теряет часть кристаллизационной воды, в результате чего ее структура изменяется и защитные свойства снижаются в 2—3 раза.

Наряду с положительными свойствами процесс фосфатирования в растворе соли Мажеф имеет и недостатки, которые ограничивают области его применения: в процессе фосфатирования происходит сильное выделение водорода, поэтому вследствие образования газовых мешков ванна непригодна для фосфатирования деталей сложной конфигурации; при фосфатировании происходит наводороживание и связанное с этим уменьшение пластичности и длительной прочности, особенно высокопрочных сталей.

При фосфатировании высокопрочных сталей обнаруживается коррозионное растрескивание в области упругих растягивающих напряжений.

Для ускорения процесса фосфатирования, уменьшения выделения водорода и окисления Fe^{2+} до Fe^{3+} в раствор соли Мажеф вводят окислители $\text{Zn(NO}_3)_2$ и др. При этом состав фосфатных пленок изменяется (табл. 2).

При фосфатировании в растворе соли Мажеф с увеличением концентрации $\text{Zn(NO}_3)_2$ содержание железа (II) и цинка увеличивается, а содержание марганца и железа (II) уменьшается.

Ускоренное фосфатирование стали рекомендуется производить в растворах, приведенных в табл. 3.

Образующиеся в растворе № 1 фосфатные пленки имеют высокие защитные свойства: время появления коррозии стали в 3 %-ном растворе HCl составляет ~30 ч.

Введение в раствор № 2 муниатора ОП-7 или ОП-10 способствует обезкарированию стальных деталей.

Электроизоляционная пленка, обладающая серийным сопротивлением

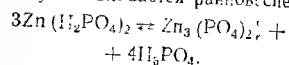
2. Влияние концентрации (г/л) нитрата цинка на состав фосфатной пленки

Zn(NO ₃) ₂ , г/л	Состав фосфатной пленки, %					
	Zn ²⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	PO ₄ ³⁻	H ₂ O
0	—	36,28	3,97	0,26	48,4	10,96
20	33,52	7,39	2,24	1,18	44,12	11,51
40	35,42	5,84	1,43	1,37	43,28	12,48
60	38,36	4,02	0,92	1,76	41,45	13,6
80	40,08	2,61	0,61	2,03	40,73	13,82
100	40,09	2,16	0,16	2,13	40,54	14,0

менее 2 МОм, образуется в растворе следующего состава (г/л):

препарат Макоф 35-45
Zn(NO₃)₂ 40-55
Режим обработки: t = 90-98 °C; τ = 1-20 мин.

Фосфатирование в цинк-фосфатном растворе. В растворе монофосфата цинка устанавливается равновесие



При обработке в растворе монофосфата цинка сталь взаимодействует со свободной ортофосфорной кислотой с образованием растворимого монофосфата железа (II), в результате чего равновесие смещается в сторону образования труднорастворимого трехзамещенного фосфата цинка.

Для ускорения процесса фосфатирования в раствор монофосфата цинка вводят нитраты, которые участвуют в катодной реакции и окисляют катионы Fe²⁺ до Fe³⁺. Благодаря этому в фосфатирующем растворе концентрации монофосфатов железа (II) миним.

3. Составы растворов (г/л) для ускоренного фосфатирования стали в режиме обработки

Компоненты раствора и режим	М. раствора		
	1	2	3
Препарат Макоф	30-40	30-40	30-40
Zn(NO ₃) ₂	50-60	50-70	50-70
NaNO ₂	—	—	4-5
H ₂ PO ₄	—	—	0,1-1,0
Синьлятор ОП-7 (ОП-10)	—	20-30	—
t, °C	98-98	65-80	92-96
τ, мин	10-15	20-30	8-10

мальна. Производство растворимости для двух- и трехзамещенных фосфатов железа (II) во много раз больше, чем для трехзамещенного фосфата цинка. Поэтому в первую очередь на поверхности стали образуются фосфатные пленки, основной составляющей частью которых является трехзамещенный фосфат цинка.

Для обеспечения высоких защитных свойств фосфатных пленок применяют цинк-фосфатный раствор, содержащий (г/л):

Zn(H₂PO₄)₂ 33-35
Zn(NO₃)₂ 50-55
H₂PO₄ 13-14
Режим обработки: t = 92-98 °C; τ = 10-15 мин.

Общая кислотность должна составлять 60-80 тонок, а свободная — в 5 раз меньше. Недостаток свободной H₂PO₄ вызывает усиление шламообразования и снижает защитные свойства фосфатных пленок. Избыток свободной H₂PO₄ снижает скорость роста фосфатной пленки и приводит к образованию рыхлой пленки. При недостатке свободной H₂PO₄ ее добавляют в ванну, а при избытке — ZnSO₄.

Фосфатирование при температуре кипения раствора не рекомендуется, так как в растворе взмучивается осадок, находящийся на дне ванны, который, осев на поверхность стальных деталей, нарушает сплошность фосфатного слоя.

В производственной практике для составления цинк-фосфатного раствора применяется следующий способ. Предварительно в отдельной посуде приготавливают концентрат А следующего состава (г):

Zn(H₂PO₄)₂ 370-380
Zn(NO₃)₂ 550-600
H₂PO₄ 140-150
H₂O 450-500

Плотность такого раствора составляет 1,56 г/см³. Цинк-фосфатный раствор составляют из расчета: 9 частей по объему (или 14 частей по массе) концентрата А растворяют в 91 части по объему воды. При составлении ванны рекомендуется применять конденсат и водопроводную воду с невысокой жесткостью.

При общей кислотности цинк-фосфатного раствора ниже 60 тонок производится корректировка концентратом Б, который имеет следующий состав (г):

Zn(H₂PO₄)₂ 460-470
Zn(NO₃)₂ 470-480
H₂PO₄ 510-520
H₂O 520-530

Корректировка цинк-фосфатного раствора заключается в том, что на каждую недостающую точку на 100 л раствора добавляют 108 мл или 177 г концентрата Б.

Химический анализ пленки, образующейся при фосфатировании стали в цинк-фосфатной ванне при температуре 92-98 °C, показывает, что пленка состоит из Zn₃(H₂PO₄)₂·4H₂O (голен) и Zn₃Fe(PO₄)₂·4H₂O (фосфидилит). Соотношение содержания фосфата цинка к фосфату железа составляет более 20. Увеличение концентрации фосфатов железа (II) вызывает рост размеров кристаллов фосфатной пленки и уменьшение ее защитных свойств.

Одновременно с образованием фосфатной пленки у поверхности стали на наружной стороне пленки наблюдается растворение. Это приводит к тому, что рыхлость наружных слоев фосфатной пленки больше, чем внутренних.

Основная масса пленки образуется в течение первых нескольких минут, после чего скорость роста пленки уменьшается и, начиная с 15 мин, становится малозаметной. Рост фосфатной пленки прекращается, когда скорость ее образования становится равной скорости ее растворения на наружной стороне.

С повышением свободной кислотности скорость растворения фосфатной пленки увеличивается, в результате чего скорость роста уменьшается, пленка становится рыхлой, что снижает ее защитные свойства. При уменьшении свободной кислотности усили-

вается шламообразование и защитные свойства фосфатной пленки понижаются.

На качество фосфатных пленок большое влияние оказывает температура фосфатирующего раствора. С повышением температуры раствора от 70 до 98 °C толщина фосфатной пленки увеличивается в ~1,4 раза.

Большое содержание легирующих элементов в стали, например Cr, Si, Ni, затрудняет образование фосфатных пленок. Сталь, содержащая большое количество Cr, не взаимодействует со свободной H₂PO₄, и на них при химическом фосфатировании не образуются пленки.

Наличие As в фосфатирующем растворе более 0,05 % приводит к прекращению процесса фосфатирования. Соли алюминия и кальция способствуют образованию белых пятен в результате включения в фосфатную пленку труднорастворимых двух- и трехзамещенных фосфатов этих металлов.

При фосфатировании опескоструенных стальных деталей в цинк-фосфатной ванне при 92-98 °C в течение 10-15 мин образуется мелкокристаллическая фосфатная пленка толщиной около 8 мкм с удовлетворительными свойствами: при неполном погружении в водопроводную воду коррозия стали наступает примерно через 4 сут.

В табл. 4 приведены составы некоторых растворов на основе монофосфата цинка.

В настоящее время в нашей стране изготавливаются фосфатирующие концентраты на основе монофосфата цинка. Марки фосфатирующих концентратов, их назначение и способ обработки ими деталей приведены в табл. 5.

В табл. 6 приведены основные параметры технологического процесса фосфатирования с использованием фосфатирующих концентратов.

Корректировка фосфатирующего раствора на основе КФ-1 производится введением 200 г концентрата КФ-1 на 100 л раствора на каждую недостающую точку; при использовании фосфатирующего раствора на основе КФ-3 корректировка производится также концентратом КФ-1.

Корректировка фосфатирующего раствора на основе КФЭ-1 производится концентратом КФЭ-2 из расчета:

4. Составы цинк-фосфатных растворов (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора			
	1	2	3	4
Zn(H ₂ PO ₄) ₂	30—40	—	30—40	—
ZnO	—	5—8	—	1—12
Zn (порошок)	—	—	—	—
Fe (стружка)	5	—	—	—
Zn(NO ₃) ₂	—	—	—	—
NaNO ₃	70—80	—	—	—
H ₃ PO ₄	—	30—40	5—8	1—8
HNO ₃	—	—	—	—
NaF	2,5—3,0	—	—	12—20
KCl	—	1—3	—	—
KBr	—	—	8—10	—
CH ₃ COOH	—	—	—	—
NaOH	—	3—4	—	—
K ₂ O, число точек	28—32	—	pH ~3	20—27
K ₂ O, число точек	2,5—3	—	—	1—6
t, °C	80—85	50—60	~40	50—65
t, мин	4—6	15—20	5—10	7—10

на каждую недостающую точку на 100 л раствора добавляют 150 г КФЭ-2. При корректировке фосфатирующего раствора на основе КФЭ-3

5. Концентраты для фосфатирования стали

Марка концентрата, ТУ, ГОСТ	Назначение	Способ обработки	Масса фосфатного слоя*, м.дм ²	Размер кристаллов, мкм
КФ-1, ТУ 6-25-4—77	Фосфатирование сталей перед нанесением ЛКП	Распыление	1,3—3,0	15—35
КФ-3, ТУ 6-08-375—77	То же	Окунание	3,0—6,0	15—35
КФЭ-1, ГОСТ 6-25—79	Фосфатирование проволоки и труб перед вытяжкой	То же	27—30	30—60
КФЭ-3, ГОСТ 6-25-31—77	Фосфатирование сталей перед штамповкой (экструзионное фосфатирование с последующим прокатыванием)	То же	10—15	25—40

* Здесь и далее следует понимать массу пленки, приходящуюся на единицу поверхности.

вводится 170 г концентрата КФЭ-3 на 100 л раствора на каждую недостающую точку.

Струйное фосфатирование может производиться в растворе следующего состава (г/л):

ZnO	23—25
H ₂ PO ₄	25—30
NaNO ₃	35—45
NaClO	0,5—1,0
NaClO	0,3—0,5

Режим обработки: t = 25—30 °C; pH 2,5—2,7; τ = 3÷5 мин; давление 0,3 МПа.

В состав фосфатных пленок входит кристаллизационная вода Zn₂(PO₄)₂·4H₂O и Zn₂Fe(PO₄)₂·4H₂O, что делает эти покрытия чувствительными к нагреву. При температуре до 150 °C отщепления кристаллизационной воды не происходит. При 200—220 °C происходит отщепление двух молекул кристаллизационной воды, в результате чего защитные свойства фосфатных пленок уменьшаются. При более высокой температуре отщепляется вся кристаллизационная вода.

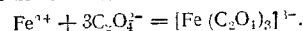
При фосфатировании в цинк-фосфатной ванне механические свойства высокопрочных сталей (30ХГСН2А и др.) не изменяются. Эти стали при фосфатировании не обнаруживают коррозионного растрескивания.

Раствор оксалатного фосфатирования. Наличие на поверхности стальных деталей даже небольшого коли-

6. Параметры технологического процесса фосфатирования

Марка концентрата	С концентрата, г/л	K _с		NaNO ₃ , г/л	t, °C	t, мин
		число точек				
КФ-1	25—30	10—14	0,5—0,8	0,1—0,15	50—55	1,5—2,0
КФ-3	15—40	16—18	2,5—3,0	0,15—0,2	70—75	5
	70—75	20—25	0,8—1,1	—	50—55	3—5
	70—75	20—25	0,8—1,1	—	50—55	3—5
КФЭ-1	1—40	48—50	9—10		90—95	8—10
КФЭ-3	25—45	10—21	1,9—2,5	0,2	55—65	10—15

чества свежесформованных продуктов коррозии затрудняет образование качественных пленок в цинк-фосфатной ванне. Один из путей снятия свежесформованных продуктов коррозии стали в процессе фосфатирования в цинк-фосфатном растворе — введение оксалат-анионов C₂O₄²⁻, которые с трехзарядными катионами Fe(III) образуют растворимые комплексные соединения:



Однако при введении большого количества анионов C₂O₄²⁻ катионы цинка образуют труднорастворимый оксалат цинка ZnC₂O₄ (произведение растворимости оксалата цинка составляет 1,6·10⁻⁸), и концентрация монофосфата цинка уменьшается. Поэтому в цинк-фосфатный раствор вводят оксалат цинка с избытком, который также способствует растворению свежесформованных продуктов коррозии стали.

Раствор оксалатного фосфатирования имеет следующий состав (г/л):

Zn(H ₂ PO ₄) ₂	33—55
NaNO ₃	50—55
H ₂ PO ₄	14—15
ZnC ₂ O ₄	избыток

Режим обработки: t = 92—98 °C; τ = 15÷30 мин.

Общая кислотность фосфатирующего раствора составляет 70—80 точек.

Оксалатом цинка насыщают фосфатирующий раствор и дополнительно вводят его в мешочках из капроновой ткани. По мере расходования оксалат цинка поступает из мешочков в фосфатирующий раствор.

В растворе оксалатного фосфатирования при температуре 92—98 °C в течение 15—30 мин удаляется свежесформованная ржавчина, а поверхность стальных деталей покрывается мелкокристаллической фосфатной пленкой с удовлетворительными защитными свойствами: коррозия стали в водопроводной воде при недолгом погружении обнаруживается через 3 сут. В 1 л раствора оксалатного фосфатирования до корректировки можно обработать 0,3 м². Корректировка фосфатирующего раствора производится концентратом Б.

Холодное фосфатирование. Для фосфатирования окескоструенных сталей при комнатной температуре целесообразно применить раствор следующего состава при общей кислотности его 75—95 точек (г/л):

Zn(H ₂ PO ₄) ₂	60—75
Zn(NO ₃) ₂	75—100
NaNO ₃	0,2—1,0

О влиянии времени обработки стали на массу и защитные свойства фосфатных пленок, образующихся в указанном растворе при комнатной температуре, можно судить по данным табл. 7. Наилучшие качественные фосфатные пленки образуются при фосфатировании стали в течение 30—60 мин.

Активаторами процесса холодного фосфатирования являются азиды фтора.

Холодное фосфатирование стали может производиться в растворах на основе препарата Мажеф и монофосфата цинка (табл. 8), а также в растворе

7. Влияние времени обработки на массу и защитные свойства фосфатных пленок

Время обра- ботки, мин	Масса пленки, г/дм ²	Время погл- щения кор- розии при не- полном погру- жении в воду, ч
5	4,9	3
10	7,4	12
15	8,1	22
20	9,0	24
30	8,5	32
60	8,0	32

для струйного фосфатирования (см. с. 52) в течение 20—30 мин.

При приготовлении раствора № 2 сначала растворяют в воде препарат Мажер, досыпают раствор до изнежения, складывают и после отстаивания растворяют нитрат цинка. Фторид натрия предварительно растворяют в небольшом количестве кипящей воды и затем вводят в ванну фосфатирования.

Оксидное фосфатирование. Для получения мелкокристаллической фосфатной пленки на шлифованной и полированной поверхности применяют растворы H_2PO_4 или монофосфатов металлов с добавками нитрата Ва, Sr, Са.

8. Составы растворов для холодного фосфатирования (г/л) и режимы обработки

Компо- ненты раствора и режим	Δ раствора			
	1	2	3	4
$Zn(H_2PO_4)_2$ $Zn(NO_3)_2$	60—70 100	— 30—35	100 —	— —
Препарат Мажер KNO_3	— — —	25—30 —	— 2	— 1—2
NaF H_2PO_4 ZnO HNO_3 $NaClO$	— — — — —	— — — — —	— 6 — — —	— — 80—85 18—21 —
$K_2Cr_2O_7$ г/л	— —	— —	— —	— —
$K_2Cr_2O_7$ г/л	— —	— —	— —	— —
t , мин	15—20	—	20—40	15—20

Обработку стальных деталей со шлифованными или полированными поверхностями ведут в растворе следующего состава (г/л):

$Ва(NO_3)_2$	30—40
$Zn(NO_3)_2$	20—10
$Zn(H_2PO_4)_2$	8—12

При повышенных температурах в этом растворе образуются гладкие блестящие фосфатные пленки от темно-серого до черного цвета. На стальных деталях с мартенситной структурой образуются блестящие черные пленки.

Оптимальные параметры технологического процесса оксидного фосфатирования: $t = 80 \pm 85^\circ C$; $\tau = 5 \pm 10$ мин. Образующиеся при этом фосфатные пленки имеют высокие защитные свойства: при полном погружении в водопроводную воду коррозия стали поддается через 9—12 сут.

Толщина фосфатной пленки, образующейся при $85^\circ C$ в течение 10 мин, составляет ~ 6 мкм. Для стальных деталей с жесткими допусками оксидное фосфатирование разрешается проводить при $73 \pm 78^\circ C$ в течение 3—5 мин. При этом образуются мелкокристаллическая пленка с удовлетворительными защитными свойствами: при испытании в водопроводной воде (неполное погружение) коррозия стали наступает через ~ 6 сут.

Пленка, образующаяся в растворе оксидного фосфатирования при указанных режимах, состоит в основном из труднорастворимого двуазмакнистого фосфата бария. Эта пленка имеет высокую термостойкость.

Рекомендуется фосфатирующий раствор следующего состава (г/л):

H_2PO_4	4—5
$Ва(NO_3)_2$	80—100
MnO_2	10—15

Режим обработки: $t = 98 \pm 100^\circ C$; $\tau = 30$ мин.

При обработке в указанном растворе на полированной поверхности стальных изделий образуется блестящая черная пленка.

Для чугунных деталей применяют раствор следующего состава (г/л):

H_2PO_4	0,5—2,5
$Ва(NO_3)_2$	80—100
MnO_2	10—15

Режим обработки: $t = 90 \pm 95^\circ C$; $\tau = 0,5 \pm 2,0$ часов. $t = 94 \pm 98^\circ C$; $\tau = 10 \pm 60$ мин.

Универсальный раствор для фосфатирования. Такой раствор позволяет получать мелкокристаллические фосфатные пленки на шлифованных, полированных, пескоструенных стальных деталях, а также на деталях, частично или полностью покрытых цинком или кадмием.

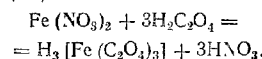
Состав универсального раствора для фосфатирования (г/л) следующий:

$Zn(H_2PO_4)_2$	10—15
$NH_4H_2PO_4$	10—15
$Mg(NO_3)_2$	50—70
препарат «Прогресс»	4 мл/л
$ZnCl_2$	до насыщения

Режим обработки: $t = 75 \pm 85^\circ C$; $\tau = 5 \pm 15$ мин.

При фосфатировании в этом растворе стальных шлифованных или полированных деталей образуется мелкокристаллическая пленка. Время для появления коррозии на таких деталях при неполном погружении их в водопроводную воду составляет 8—10 сут. При температуре фосфатирующего раствора $50 \pm 60^\circ C$ и времени обработки 5—15 мин образуются тонкие мелкокристаллические пленки толщиной ~ 2 мкм, которые обладают достаточно высокими защитными свойствами: при неполном погружении в воду коррозия стали наступает через 6 сут.

Обработка в универсальном растворе частично или полностью оцинкованных и кадмированных стальных деталей позволяет получать на поверхности цинка, кадмия и стали мелкокристаллические фосфатные пленки. На цинковом и кадмиевом покрытиях мелкокристаллические пленки легче образуются в присутствии комплексов $[Fe(C_2O_4)]^{2-}$. Поэтому в универсальный раствор вводят растворы $Fe(NO_3)_3$ и $H_2C_2O_4$ по 1,7—2,0 г/л каждого, при взаимодействии которых образуется оксалатный комплекс железа (III):



При обработке в универсальном растворе оцинкованных и кадмированных стальных деталей при температуре $75 \pm 85^\circ C$ в течение 5—15 мин образуются фосфатные пленки, которые имеют более высокие защитные свойства, чем хроматные.

При испытании в 3 %-ом растворе NaCl кадимисых покрытий, обработанных различным образом, коррозия появляется через следующие промежутки времени (сут.): 3 — без обработки; 40 — хромированное; 110 — фосфатирование.

Получение аморфных пленок. Для получения аморфных пленок на стали рекомендуется применять раствор следующего состава (г/л):

NaH_2PO_4	10—15
$NaNO_3$	8—10
KBr	2—5

Режим обработки: $t = 70 \pm 80^\circ C$; $\tau = \sim 1$ мин.

При фосфатировании в указанном растворе на стали образуется аморфная пленка массой 5 мг/дм².

Масса аморфных фосфатных пленок на стали на один порядок меньше, чем масса кристаллических пленок. Поэтому защитные свойства аморфных пленок сравнительно ниже. Аморфные пленки рекомендуется применять в сочетании с полимерными покрытиями (металлопласты), которые способны выдерживать значительные деформации вследствие большой прочности сцепления фосфатнополимерная сталь—полимер.

Электрохимическое фосфатирование. Оно производится в растворах на основе препарата Мажер и монофосфата цинка (табл. 9).

9. Составы растворов для электрохимического фосфатирования (г/л) и режимы обработки

Компо- ненты раствора и режим	Δ раствора			
	1	2	3	4
Препарат Мажер $Zn(H_2PO_4)_2$	60—80 50—100	— —	— —	— —
ZnO K_2F H_2PO_4 HNO_3 $Mg(NO_3)_2$ $NH_4H_2PO_4$ Na_2PO_4	— — — — — — —	— — — — — — —	25—25 18—20 26—26 50—70 15—20 — —	9 92 — — — — 25
t , $^\circ C$	15—30	15—30	65—75	65—75
i , А/дм ²	0,3—0,7	0,3—0,5	2—3	2—3
τ , мин	10—15	3—5	5—8	15—20

При электрохимическом фосфатировании в растворах № 1, 2 и 3 используется постоянный ток, детали зашунтуются на катодную штангу, а в качестве анода используются цинковые или железные пластины.

При фосфатировании в растворе № 4 применяется переменный ток: электролиз проводят трехфазным током при напряжении 15–20 В. Состав № 2 рекомендуется для катодного фосфатирования цинковых и кадмиевых покрытий, а № 4 — для коррозионно-стойкой стали.

Химическое фосфатирование цветных металлов. Фосфатирование цинковых и кадмиевых покрытий производится в растворах оксидного фосфатирования, универсальном растворе фосфатирования и в растворах препарата Мажеф.

Фосфатирование магния и его сплавов производится в растворах, составы которых приведены в табл. 10.

В растворе № 1 на магниевых сплавах образуется фосфатная пленка, состоящая главным образом из труднорастворимого фосфата марганца, в то время как в растворе № 2 образуется пленка, состоящая из фосфата магния.

При обработке в растворе № 3 на магниевых сплавах систем Mg–Nd–Zr, Mg–Nd–Zr–Mg, Mg–Zn–Zr, Mg–Mn–Ce образуются мелкокристаллические фосфатно-фторидные пленки толщиной ~3 мкм, в состав которых входят труднорастворимые фосфаты и фториды бария и магния. Эти пленки на жаростойких магниевых

сплавах имеют высокую термостойкость (~350 °C). С увеличением содержания бария в фосфатно-фторидных пленках их термостойкость увеличивается.

Фосфатно-фторидные пленки резко повышают адгезию лакокрасочных покрытий на магниевых сплавах.

Фосфатирующий раствор № 3 готовят в следующем порядке: сначала в ванне с водой растворяют ортофосфорную кислоту, а затем монофосфат бария и фторид натрия.

Для снятия недоброкачественных фосфатно-фторидных пленок детали обрабатывают в 20%-ном растворе CrO_3 при комнатной температуре в течение 5–10 мин.

Фосфатирование можно проводить в растворе следующего состава (г/л):

Zn (H_2PO_4) ₂	30–40
ZnNO ₃	20–30
NaF	1,8–2,2

Режим обработки: $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$; $\tau = 5 \pm 7$ мин; pH 3,0–3,5.

При обработке магниевых сплавов в указанном растворе образуются фосфатные пленки с повышенной адгезией лакокрасочных покрытий.

При фосфатировании алюминия и его сплавов применяют растворы, приведенные в табл. 11.

Образующиеся в этих растворах фосфатные пленки на алюминии и его сплавах содержат 50–55 % CrPO_4 , 17–23 % AlPO_4 , 22–23 % H_2O . Эти пленки аморфные, гладкие, голубовато-зеленого цвета; они имеют толщину около 3 мкм.

Титан и его сплавы обладают низкими антифрикционными свойствами и малой износостойкостью

вследствие высокого коэффициента трения. Эти недостатки могут быть устранены созданием на поверхности титана и его сплавов фосфатных пленок, которые облегчают холодную деформацию и волочение проволоки. Фосфатирование рекомендуется проводить в растворе, содержащем (г/л): 10–100 H_3PO_4 с добавками 10–100 фторидов (KF , NaF , NH_4F) при $t = 98 \pm 99^\circ\text{C}$ и $\tau = 10 \pm 30$ мин.

Для фосфатирования никеля и его сплавов рекомендуется раствор следующего состава (г/л):

H_3PO_4	15
NaF	13
Zn (NO_3) ₂	200

Режим обработки: pH 2,0; $t = 25 \pm 35^\circ\text{C}$; $\tau = 35 \pm 45$ мин.

Большое влияние на кинетику роста фосфатной пленки оказывает состояние поверхности никеля. Скорость роста фосфатной пленки на матовом никелевом покрытии гораздо больше, чем на химическом никеле. Блестящие никелевые покрытия практически не фосфатируются.

Повышение защитных свойств фосфатных пленок. Оно производится обработкой в растворах соединений хрома (VI), промасливанием, гидрофобизированием и окраской.

Обработку фосфатированных деталей рекомендуется проводить в растворе, содержащем 80–100 г/л $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, при $t = 50 \pm 80^\circ\text{C}$ и $\tau = 5 \pm 10$ мин; после этого проводят промывку в воде и сушку обдувкой сжатым горячим воздухом или в сушильном шкафу при 100–110 °C.

Промасливание фосфатированных деталей обычно производится веретенным или авиационным маслом, нагретым до 100–110 °C. Используется для этой цели также раствор масел в органических растворителях или эмульсия при комнатной температуре.

Для повышения коррозионной стойкости фосфатированных деталей их окрашивают.

Для повышения защитных свойств фосфатных пленок широко используется гидрофобизирование, заключающееся в получении на поверхности деталей тонкой водоотталкивающей (гидрофобной) пленки. Обычно для указанных целей используются различ-

ные кремнийорганические соединения (ГКЖ). К ним относятся метил- и этилгидрополисилоксаны.

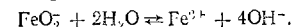
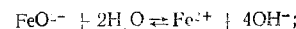
Наиболее высокими защитными свойствами обладают фосфатные пленки, обработанные этилгидрополисилоксаном (ГКЖ-94) и метилгидрополисилоксаном (ГКЖ-94М), содержащие большое число активных атомов водорода, органических радикалов C_2H_5 и CH_3 и имеющие силоксанную связь кремния в линейной цепи.

Уменьшение количества активных атомов водорода способствует уменьшению эффективности гидрофобизирования фосфатных пленок. Обработку ведут в 10%-ном растворе ГКЖ-94 или ГКЖ-94М с последующей сушкой при 110–130 °C в течение 60 мин.

ОКСИДИРОВАНИЕ

Химическое оксидирование стали и чугуна. В растворах едкого натра при достаточно высокой температуре сталь растворяется с выделением водорода и образованием гидроферрит-анионов: $\text{Fe} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{FeO}_2^- + \text{H}_2 \uparrow$. В присутствии окислителей NO_3^- и NO_2^- образуются также и феррит-анионы FeO_2^- .

При наличии анионов FeO_2^- и FeO_2^- в щелочном растворе присутствуют катионы Fe^{2+} и Fe^{3+} :



При достаточной концентрации Fe^{2+} и Fe^{3+} образуется оксидная пленка, состоящая главным образом из магнетита Fe_3O_4 . В нагретом растворе щелочи в присутствии окислителей оксидная пленка постоянно образуется и растворяется вновь.

Технологический процесс оксидирования предусматривает подготовку поверхности деталей перед оксидированием, химическое оксидирование и дополнительную обработку поверхности. Химическое оксидирование стали и чугуна производится в нагретых растворах, составы которых приведены в табл. 12.

Раствор для химического оксидирования стали и чугуна готовят следующим образом: NaOH растворяют в сетчатые корзины или перфорированные ведра с диаметром отверстий ~3 мм

10. Составы фосфатирующих растворов (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора		
	1	2	3
$\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	—	—	40–70
Препарат Мажеф	—	—	—
NaF	0,2–0,5	—	1–2
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	—	22	—
$\text{Zn}(\text{BF}_4)_2$	—	15	—
H_3PO_4	—	15	5–10
$t, ^\circ\text{C}$	96–100	75–85	95–98
τ , мин	30–10	—	20–30

11. Составы фосфатирующих растворов (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора		
	1	2	3
H_3PO_4	50–60	10–50	40–60
CrO_3	7–8	4–7	5–10
HF	4–5	—	—
(40%-ная) NaF	—	3–7	3–5
$t, ^\circ\text{C}$	15–30	15–30	15–20
τ , мин	5–20	5–20	5–20

12. Составы растворов для химического оксидирования стали и чугуна и режимы обработки

Сталь и чугун	С, г/л				t, °C	τ, мин
	NaOH	NaNO ₂	NaNO ₃	Na ₂ PO ₄		
Высокоуглеродистая и чугун	550—700	50—100	200—500	—	135—145	10—30
Среднеуглеродистая	550—700	50—100	200—250	—	135—145	30—50
Низкоуглеродистая	550—700	50—100	200—250	—	145—155	40—60
Низко- и среднелегированная	550—700	50—100	200—250	—	145—155	60—90
Углеродистая: низколегированная среднелегированная	450—600 650—800	50—100 75—125	50—100 75—125	—	125—135 135—155	~30 30—60
Углеродистая, низко- и среднелегированная и чугун	600—700	—	120—160	20—60	137—143	15—30

и завешивают в рабочую ванну, наполненную расчетным количеством воды. После растворения NaOH в ванну вводят расчетное количество NaNO₂ и NaNO₃, а затем Na₂PO₄, раствор перемешивают до полного растворения всех введенных компонентов. Уровень раствора в ванне химического оксидирования должен быть не менее чем на 350 мм ниже верхнего края ванны.

Сборку ванны разрешается включать только после полного растворения всех введенных компонентов. После включения нагрева ванны следует немедленно начать перемешивание раствора железной мешалкой. При достижении рабочей температуры в ванну загружают стальные детали, подлежащие химическому оксидированию. Срок службы раствора определяется числом оксидируемых деталей, но, как правило, в серийном производстве раствор служит около 6—7 месяцев. После этого срока его следует заменить свежим раствором. Необходимо ежедневно добавлять воду в еще не нагретую ванну, предотвратив разломан корку, которая образуется на поверхности раствора в ванне после перерыва в работе.

Во время оксидирования деталей раствор следует поддерживать в состоянии легкого кипения.

Оксидная пленка на углеродистой стали состоит из магнитного оксида Fe₃O₄. При оксидировании среднелегированной стали пленка состоит из Fe₃O₄ и оксидов легирующих элементов. Цвет оксидной пленки на деталях

из углеродистых и низколегированных сталей черный с синеватым оттенком; цвет пленки, образующейся на деталях из высоколегированных сталей, от темно-серого до темно-коричневого с темно-вишневым оттенком.

На чугуне и стали, легированной кремнием, цвет пленки от золотистого до темно-коричневого.

Толщина оксидной пленки составляет ~1 мкм.

При недостатке окислителей при данной концентрации NaOH на оксидированных деталях образуется зеленоватый налет.

После химического оксидирования стальные детали тщательно промывают в горячей воде до полного удаления остатков щелочного раствора. Промывная вода для более эффективного удаления щелочного раствора должна перемешиваться воздухом. Для периодического контроля качества промывки на поверхность оксидной пленки наносят каплю фенолфталеина. При тщательной промывке в воде капля фенолфталеина не дает розового окрашивания на поверхности оксидированной детали. При недостаточной промывке на поверхности деталей при хранении появляется белый налет.

После химического оксидирования и тщательной промывки в воде стальные детали рекомендуется промыть в нагретом (~90 °C) растворе, содержащем 30—50 г/л жидкого или ядрового хозяйственного мыла в течение 2 мин. Вместо мыльного раствора разрешается применять 20 % ный раствор эмульсора в воде.

Сушка оксидированных деталей после промывки в растворе мыла или эмульсора производится обдувкой сжатым горячим воздухом или в сушильном шкафу.

Защитные свойства оксидных пленок ниже, чем фосфатных: при неполном погружении в воду коррозии оксидированной стали подвержены через ~0,1 сут. Поэтому для повышения защитных свойств оксидной пленки детали промасливаются путем погружения на 4—6 мин в масло (машинное, веретенное, авиационное и т. п.), нагретое до 100—110 °C, или жирной промасленной салфеткой.

Раствор для химического оксидирования при 125—155 °C вызывает коррозионное растрескивание высокопрочных сталей. При наличии на неоксидированных стальных деталях прижогов, образующихся, например, при механическом шлифовании, также происходит коррозионное растрескивание.

Химическое оксидирование медных сплавов. Такое оксидирование меди и ее сплавов, применяющиеся для декоративной отделки и повышения коррозионной стойкости, ведется в растворе следующего состава (г/л):

NaOH	50—60
K ₂ S ₂ O ₈	1—10

Режим обработки: t = 60—65 °C; τ = 5 мин.

После химического оксидирования детали промывают в холодном и горячей воде и сушат. Образующаяся при этом пленка состоит из оксида меди (II), имеет черный цвет, обладает высокой механической прочностью и эластичностью. Толщина оксидной пленки ~1 мкм.

Химическое оксидирование латунных и медных покрытий производится в растворе следующего состава:

NH ₄ OH	950 мл
SiO ₂	150—200 г

Режим обработки: t = 30—40 °C; τ = 10—15 мин.

Латунные детали могут обрабатываться в растворе, содержащем 25 % ный NH₄OH (~80 мл/л) и SiO₂ (~20 г/л), при 15—30 °C в течение 3—10 мин. После этого детали из латуны в воде обрабатывают в 25 % ный раствор NH₄Cl (~100 мл/л) с добавкой SiO₂ (40 г/л) при той же температуре в течение 3—20 мин.

Для получения оксидной пленки коричневого цвета латунные детали обрабатываются в растворе следующего состава (г/л):

KMnO ₄	50
SiO ₂	5

Оттенок пленки зависит от времени обработки.

Бронзовые детали обрабатываются в растворе следующего состава (г/л):

NaOH	40—60
K ₂ S ₂ O ₈	13—17
NaNO ₂	5—10

Режим обработки: t = 90—95 °C; τ = 2—5 мин.

Детали из томпака оксидируют в растворе, содержащем 120—150 мл/л NH₄OH, 4—6 г/л SiO₂ и 2—4 г/л Na₂CO₃, при t = 85—90 °C и τ = 5—10 мин.

После промывки в воде и сушки детали протирают минеральным маслом или покрывают бесцветным лаком.

Химическое оксидирование алюминиевых сплавов. Такое оксидирование алюминиевых сплавов производится в растворе следующего состава (г/л):

Na ₂ CO ₃	40—60
Na ₂ C ₂ O ₄	1—15
CaCl ₂	2,0—2,5

Режим обработки: t = 30—100 °C; τ = 2—20 мин.

После химического оксидирования детали омывают в воде, затем в 10 % ной нейтрализации остатков щелочи и в десятикратного разбавлении производится обработка в 2 % ный раствор SiO₂ в течение 10—15 с при комнатной температуре. После промывки в воде детали сушат сжатой теплой водой в сушильном шкафу при ≤60 °C.

Образующаяся при химическом оксидировании алюминиевых сплавов пленка состоит из гидратированных оксидов алюминия и хрома (III).

Качество оксидной пленки проверяют внешним осмотром. Цвет пленки, полученной в щелочном растворе с хроматом натрия, от желто-серого до темно-серого в зависимости от состава сплава. Пленка химического оксидирования повышает адгезию лакокрасочных покрытий.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ (АНОДИРОВАНИЕ)

Анодное оксидирование алюминиевых сплавов. Анодное оксидирование (анодирование) — основной метод защиты от коррозии деталей из алюминиевых сплавов. Оно производится главным образом в растворах H_2SO_4 или H_2CrO_4 ; при этом детали подвергаются анодной поляризации.

При анодном оксидировании протекают два процесса: образование оксидной пленки на алюминированном сплаве и ее растворение с наружной стороны. Необходимым условием роста пленки является возникновение пор в результате взаимодействия оксидной пленки с кислотой и протекания тока.

Оксидное покрытие состоит из двух слоев: пористого толстого внешнего слоя и внутреннего тонкого слоя, который называется барьерным слоем. При анодном оксидировании в H_2SO_4 объем пор составляет около 30% объема оксидной пленки. Повышение температуры раствора серной кислоты, взаимодействие ее с оксидной пленкой увеличивается, в результате чего пленка разрыхляется и защитные свойства ее снижаются.

Анодное оксидирование алюминиевых сплавов в H_2SO_4 производится в растворе, содержащем (г/л):

H_2SO_4	180—200
Режим обработки: $i_a =$	
$= 0,8 \pm 2,0$ А/дм ² ; напряжение до 24 В;	
$t = 13 \pm 23^\circ C$; $\tau = 15 \pm 60$ мин.	

При прохождении количества электричества, равного 2,1 ККл/дм², толщина оксидной пленки на плакированных алюминиевых сплавах составляет 6—12 мкм. Температура раствора H_2SO_4 не должна превышать 25°C, так как это приводит к образованию рыхлой пленки. Поэтому раствор H_2SO_4 необходимо охлаждать с помощью специального холодильного устройства или водой и перемешивать сжатым воздухом.

Монтаж деталей из алюминиевых сплавов производится на специальных подвесках, которые изготавливают из алюминия или титановых сплавов. В качестве катодов используется свинец или сталь 12Х18Н9Т.

Анодное оксидирование может производиться и с применением переменного тока (однофазного или трехфазного) в растворе, содержащем (г/л)

H_2SO_4	125—150
Режим обработки: $i_a =$	
$= 13 \pm 25^\circ C$; $i_a = 1,5 \pm 2,0$ А/дм ² ; напря-	
жение 13—27 В; $\tau = 20 \pm 30$ мин.	

При прохождении количества электричества, равного 1,2 ККл/дм², образуется оксидная пленка толщиной ~5 мкм. Для неплакированных деформированных сплавов продолжительность анодирования увеличивается до 35—47 мин при напряжении на шпалах ванны до 30 В.

При анодировании перекисным током после прохождения ~180 ККл через 1 л раствора H_2SO_4 может происходить растравливание оксидной пленки. Для предотвращения растравливания в раствор H_2SO_4 периодически добавляют HNO_3 , концентрация которой должна составлять 6—12 г/л.

После анодного оксидирования детали промывают в воде, а затем производят наполнение оксидной пленки в горячей воде или в растворе бихромата калия (натрия). Наполнение водной оксидной пленки производится при 90—95°C в течение 20—25 мин; вода имеет рН 4,5±6,3, рН поддерживается добавлением H_2SO_4 .

Для поддержания постоянным рН используют раствор следующего состава (г/л):

NH_4NO_3	3,5—10
$(NH_4)_2(PO_4)$	0,05
Режим обработки: $i_a =$	
$= 90 \pm 95^\circ C$; $\tau = 20 \pm 25$ мин.	

При наполнении оксидной пленки горячей водой она гидратируется, в результате объем ее возрастает, диаметр пор уменьшается и защитные свойства повышаются.

Наполнение оксидной пленки бихроматом калия производится в растворе, содержащем (г/л):

$K_2Cr_2O_7$ или $Na_2Cr_2O_7$	10—45
Режим обработки: рН	
$= 4,5 \pm 5,0$; $t = 90 \pm 95^\circ C$; $\tau = 20 \pm 25$ мин.	

Штанги, на которых монтируются оксидированные детали при наполнении бихроматом калия или натрия, должны быть изолированы от стального корпуса ванны прокладками из текстолита или резины. При наличии

металлического контакта между деталями и корпусом ванны возникает гальваническая пара, вызывающая разрушение алюминированного сплава и оксидной пленки.

Ускоренный способ наполнения пленки бихроматом калия состоит в обработке в растворе следующего состава (г/л):

$K_2Cr_2O_7$	15
$NaOH$	3
Режим обработки: рН 6,5—7,5;	
$t = 90 \pm 95^\circ C$; $\tau = 5 \pm 6$ мин.	

Цвет пленки, наполненной в горячей воде, от светло-серого до темно-серого; цвет ее на деталях из литейных алюминиевых сплавов от светло-серого до темно-коричневого.

Пленка после наполнения в растворе бихромата калия или натрия имеет цвет от светло-зеленого до желто-зеленого. Цвет анодной пленки, наполненной по ускоренному способу, несколько менее желтый, чем пленки, наполненной по обычному методу. Защитные свойства анодных пленок, наполненных бихроматом калия обычным и ускоренным способами, практически одинаковы.

После наполнения анодной пленки бихроматом калия или натрия детали промывают горячей водой и высушивают на воздухе или в сушильных камерах при 40—70°C в течение ~15 мин.

Анодирование заклепок, болтов, шайб и других мелких деталей производится в перфорированных стаканах из алюминиевого сплава или винипласта. Для осуществления постоянного прочного контакта указанные детали прижимают друг к другу с помощью специальных приспособлений.

Анодное оксидирование в хромовой кислоте производится в растворе, содержащем (г/л)

CrO_3	30—55
Режим обработки: $i_a =$	
$= 0,2 \pm 2,5$ А/дм ² ; напряжение до 40 В.	

Процесс анодного оксидирования в растворе хромовой кислоты следует регулировать по напряжению на клеммах ванны. После подключения ванны необходимо достичь напряжение до 40 В в течение 5—10 мин и при таком напряжении вести анодирование в течение 50—55 мин. Толщина пленки составляет около 3 мкм.

Детали из гетерогенных сплавов анодируются в том же растворе при 32—36°C и $i_a \leq 1,6$ А/дм². Напряжение поднимать до 45 В в течение 10—15 мин, затем анодирование вести 45—50 мин.

После анодирования в хромовой кислоте детали промывают в воде и сушат обдувкой сжатым воздухом. Цвет пленки от молочного до серого, возможны цвета побежалости. Контроль качества анодно-оксидных пленок состоит из внешнего осмотра, капельной пробы и определения толщины пленки.

Толщину анодных пленок определяют весовым методом или по приближенному напряжению. При толщине пленки 3 мкм пробивное напряжение составляет 140—170 В, при толщине 6 мкм — 220 В, при толщине 10 мкм — 300—320 В.

Толстослойному анодированию подвергаются алюминий и его сплавы для придания им большой твердости, высокой износостойкости, высоких электро- и теплоизоляционных свойств. Оптимальная толщина пленки на деталях, работающих в условиях повышенного трения, составляет 30—50 мкм, пленки, используемой в качестве теплоизоляции, ~100 мкм, электроизоляционной пленки 20—40 мкм (в зависимости от пробивного напряжения). Толстослойное анодирование происходит при низких температурах. Твердое анодирование проводится в растворе H_2SO_4 при концентрации 180—200 г/л и температуре 0—7°C. Толстые пленки можно получить при температуре до +2°C с некоторым ухудшением их свойств. Охлаждение электролита осуществляется с помощью холодильных установок.

Плотность тока в начале процесса анодирования составляет 0,5—1,0 А/дм², а затем повышается до 2,0—2,5 А/дм² в течение 10—15 мин. Напряжение на электродах в начале процесса составляет 20—25 В и далее по мере роста толщины пленки повышается до ~90 В. Процесс толстослойного анодирования необходимо проводить с использованием источника тока.

Для сплавов, содержащих 3% и выше меди, анодное оксидирование рекомендуется проводить в растворе, содержащем 500—580 г/л H_2SO_4 , при температуре -3—-8°C. В этом растворе можно анодировать и другие

сплавы. Плотность тока рекомендуется повышать от 0,5 до 2,5 А/дм² в течение 30 мин; при этом напряжение на электродах повышается до 65 В. Для сплавов, содержащих медь более 4,9 %, не рекомендуется применять толстослойное анодирование.

Продолжительность толстослойного анодирования зависит от толщины пленки. При прохождении количества электричества, равного 6 кКл/дм², на алюминии образуется пленка толщиной ~40 мкм, а на сплаве Д16, содержащем медь, — толщиной 25 мкм. Толстослойное анодирование сплавов, содержащих до 3 % меди, может производиться в растворе следующего состава (г/л):

H₂SO₄ 90—110
H₂C₂O₄ 30—50
Режим обработки: $t = 10 \pm 20^\circ\text{C}$; $i_a = 3 \pm 4,5$ А/дм², напряжение до 90 В.

При пропускании количества электричества, равного 10,5 кКл/дм², образуется анодная пленка толщиной около 50 мкм.

Цвет толстослойных анодных пленок зависит от состава алюминиевых сплавов и режима анодирования: они бывают серыми, зелеными, черными и коричневыми.

Толщина толстослойной пленки определяется при помощи микроскопа на поперечном шлифе. При этом определяется микротвердость. Толщину пленок на плоских поверхностях можно определять с помощью приборов с индуктивным датчиком.

Помимо анодирования в растворах серной кислоты электроизоляционное анодирование производится также в растворах на основе щавелевой кислоты (табл. 13).

13. Составы растворов для электроизоляционного анодирования (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
H ₂ C ₂ O ₄ H ₂ SO ₄ Сульфосалициловая кислота	25—35 2—4 90—110	40—60 — —
$t, ^\circ\text{C}$ i_a , А/дм ² Напряжение, В t , мин	10—28 1,5—3,0 До 100 20—120	15—25 2,5—3,5 До 120 90—210

14. Составы растворов для эматалирования (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
CrO ₃ H ₂ BO ₃ H ₂ C ₂ O ₄ Калий-титанат щавелевокислый Лимонная кислота	30—35 1—2 — — —	6—7 8—11 1—2 40—15 1—2
$t, ^\circ\text{C}$ i_a , А/дм ² Напряжение, В t , мин	40—45 0,3—1,0 40—80 60	50—60 До 3 0—120 30—40

Для повышения электроизоляционных свойств анодных пленок их пропитывают изоляционным лаком.

Эматалирование — анодное оксидирование алюминиевых сплавов для получения непрозрачных эмалевидных пленок молочно-белого цвета, напоминающих по внешнему виду эмаль, пластмассу, фарфор и т. п. Эматалированию обычно подвергаются сплавы алюминия с марганцем и магнием (АМц, АМг и др.) в растворах, приведенных в табл. 14. В процессе эматалирования заданную плотность тока поддерживают путем повышения напряжения на ванне.

В растворе № 1 в течение 5 мин напряжение повышают от 0 до 40 В; от 40 до 80 В напряжение также повышают в течение 5 мин. В течение 30 мин процесс эматалирования производится при 40 В, при 80 В — также в течение 30 мин.

В растворе № 2 напряжение от 0 до 150 В поднимают в течение 10—15 мин.

Раствор для эматалирования составляют следующим образом. Сначала растворяют калий-титанат щавелевокислый в теплой воде, добавляют щавелевую и лимонную кислоты. Затем отдельно растворяют борную кислоту. Оба раствора фильтруют и сливают в ванну эматалирования, добавляя воду до заданного объема, после чего щавелевой кислотой доводят рН раствора до 1—2.

Цветное анодное оксидирование выполняют путем наполнения оксидных пленок органическими (адсорбционное окрашивание),

неорганическими красителями, ссаждением в порах пленки окрасочных веществ при электролизе растворов солей металлов, а также окрашиванием анодно-оксидной пленки в процессе ее формирования.

Адсорбционное окрашивание производится после анодирования в водных растворах органических красителей. В табл. 15 приведены составы некоторых водных растворов органических красителей и время обработки для получения окрасочных оксидных покрытий ($t = 60 \pm 80^\circ\text{C}$). Водный раствор органического красителя приготавливают следующим образом. Необходимое количество красителя растворяют в горячей воде и кипятят в течение ~15 мин, а затем фильтруют.

Большим недостатком органических красителей является их низкая светостойкость. Для повышения светостойкости после окрашивания рекомендуется обработка в растворе следующего состава (г/л):

Co (CH₃COO)₂ 0,65—1,15
Na(CH₃COO)₃ 3,5—6,8
H₂BO₃ 7,5—9,5

Режим обработки: $t = 90 \pm 100^\circ\text{C}$; $t = 20 \pm 20$ мин.

Затем детали промывают в горячей воде и высушивают.

Для окрашивания оксидных пленок на алюминии под цвет золота используются водные растворы, составы которых приведены в табл. 16.

После окрашивания оксидных пленок детали промывают в воде и выдерживают в обессоленной воде при pH 4,6—6,0 и 90—98 °C в течение 26—30 мин. Для повышения коррозионной стойкости деталей на покрытие после сушки наносят тонкий слой бесцветного лака, воска или парафина.

Окрашивание неорганическими красителями оксидных пленок производится обработкой в растворах, принадлежащих к двум группам (табл. 17).

После обработки в растворе первой группы детали промывают водой и погружают в раствор второй группы. Продолжительность обработки в этих растворах составляет 5—10 мин при 15—30 °C. В порах пленки образуются труднорастворимые соединения с последующей окраской. После этого детали промывают в воде и высушивают.

Электрохимическое окрашивание пористых оксидных пленок на алюминии и его сплавах производится в растворе следующего состава (г/л):

Na₂SO₄ 20—30
MgSO₄ 15—30
(NH₄)₂SO₄ 20—30
H₂BO₃ 20—30

Режим обработки: pH 4,5—5,0; $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$.

Обработку производят катодным током в две стадии: сначала выдерживают при 10 В в течение 0,5 мин, а затем при 15 В в течение 1—12 мин. Продолжительность второй стадии выбирают в зависимости от требуемой окраски.

После электрохимического окрашивания производят наполнение пленки горячей водой и высушивают.

Окрашивание пленки в процессе ее формирования получило большое распространение. Способ Аноцвет-350 предусматривает анодирование алюминия и его сплавов в растворе следующего состава (г/л):

Сульфосалициловая кислота 70—80
H₂SO₄ 1—5
H₂PO₄ 0,1—1,0
пленки В 0,1—0,5

Режим обработки: $t = 20 \pm 23^\circ\text{C}$; $i_k = 1,3 \pm 2,6$ А/дм² (на алюминий); напряжение 25—80 В; $t = 15 \pm 50$ мин.

Цвет пленки зависит от состава сплава и условий обработки. Так, на сплаве АМГ0,5 при достижении напряжения 50 В в течение 20 мин при полном времени анодирования 30 мин пленка окрашена в янтарно-серый цвет, на сплаве АМГ1 при том же режиме анодирования пленка имеет светло-коричневый цвет.

При анодировании в H₂C₂O₄ (40—60 г/л) цвет пленки зависит от ее толщины и условий электролиза. При $i_a = 1,5 \pm 2,0$ А/дм² и $t = 25^\circ\text{C}$ в течение 35—40 мин образуется пленка толщиной 5 мкм, которая имеет серебристый цвет; при 3 А/дм² и 40 °C в течение 35—40 мин образуется желтая пленка, а при 4—5 А/дм² при 50 °C образуется коричневая пленка.

Анодное оксидирование манганевых сплавов. Оксидные покрытия на манганевых сплавах получают в щелочных и кислых растворах. При анодиро-

15. Составы водных растворов органических красителей

Краситель	C, г/л	t, мин	Цвет пленки
Анилиновый черный ФФ	5—10	15—30	Черный
Анилиновый прямой черный 3	3—5	10—20	Черный
Черный 2К	3—10	15—30	Черный
Основной коричневый	3—5	10—20	Коричневый
Ализариновый желтый Р	1—3	5—10	Желтый с зеленым оттенком
Прямой желтый	1—3	5—10	То же
Кислотный хром желтый Н	1—3	5—10	То же
Протравной чисто-желтый	1—3	5—10	То же
Кислотный алый	2—5	5—10	Оранжево-красный
Оранжевый 2Ж	2—5	5—10	Оранжевый
Ализариновый красный С	2—5	5—10	От розового до красного
Кислотный рубиновый	3—5	5—10	Красный
Кислотный хром ярко-красный	1—5	5—10	Малиновый
Прямой красный 2С	3—5	5—10	Красный
Кислотный хром бордо	1—5	5—10	От розового до красного
Кислотный синий антралиновый	1—5	5—10	Синий
Прямой синий М	3—5	5—10	То же
Анилиновый прямой чисто-голубой	2—3	5—10	Голубой
Метленовый голубой	2—3	5—10	То же
Прямой зеленый ЖХ	3—5	5—10	Зеленый
Основной ярко-зеленый	3—5	5—10	То же
Основной фиолетовый	3—5	5—10	Фиолетовый

16. Составы растворов для окрашивания под золото (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора				
	1	2	3	4	5
Оранжевый 2Ж	1,0	0,1	1,0	0,1	1,6
Желтый 3	0,1	0,01	—	—	0,4
Кислотный черный М	0,1	0,01	—	0,01	—
Na ₂ CO ₃	0,5	pH 6,5—7,5	pH 6,5—7,5	0,5	—
t, °C	15—30	50—70	15—30	50—70	60—65
t, мин	5—7	1—4	7—9	4—7	1—2
Цвет	Золотой	Золотой	Розово-золотой	Золотой	Золотой

17. Составы растворов для окрашивания неорганическими красителями

Первая группа растворов		Вторая группа растворов		Цвет пленки	Окрашивающее соединение
Компонент	C, г/л	Компонент	C, г/л		
K ₂ [Fe(CN) ₆]	10—15	FeCl ₃	10—100	Синий	Fe ₂ [Fe(CN) ₆]
K ₂ [Fe(CN) ₆]	10—15	FeSO	10—100	Коричневый	Fe ₂ [Fe(CN) ₆]
K ₂ Cr ₂ O ₇	70—100	Pb(CH ₃ COO) ₂	100—200	Желтый	PbCrO ₄
Pb(CH ₃ COO) ₂	10—50	Na ₂ SO ₄	10—50	Белый	PbSO ₄
K ₂ CrO ₄	5—10	KMnO ₄	50—100	Оранжевый	Аз-СгО ₄
Na ₂ S ₂ O ₃	10—50	KMnO ₄	10—50	Черный с желтым оттенком	MnO ₂

поляризации в щелочных растворах на магниевых сплавах образуется главным образом гидроксид магния. В сплавах, содержащих легирующие элементы, могут образовываться помимо гидроксида магния также и гидроксиды этих элементов.

В табл. 18 приведены составы щелочных электролитов для анодного оксидирования магниевых сплавов. В растворе № 1 образуются пленки толщиной 7—15 мкм от серого до зеленого цвета, в растворе № 2 — пленки серого цвета.

При анодной поляризации в кислых растворах, которые содержат анионы Cr₂O₇²⁻, PO₄³⁻ и H₂P₂O₇, на поверхности магниевых сплавов образуются труднорастворимые соединения.

В табл. 19 приведен состав кислых растворов для анодного оксидирования магниевых сплавов.

При анодном оксидировании магниевых сплавов в кислых растворах может использоваться переменный ток. Плотность тока поддерживается постоянной вследствие повышения напряжения на ванне; при достижении рекомендуемого напряжения происходит анодирование.

Во фторидно-хроматно-фосфатном растворе (раствор № 1) при указанных режимах образуются пленки толщиной 30—50 мкм. Твердость такой пленки сопоставима с твердостью оксидных пленок на алюминии и его сплавах. При анодном оксидировании во фторидных растворах (растворы № 2, 3) образуются пленки толщиной около 5 мкм.

При анодном оксидировании деталей из магниевых сплавов между ними и корпусом ванны не должно быть контакта.

После промывки в воде производятся сушка и нанесение лакокрасочных покрытий. Покрытия, получаемые при анодировании во фторидно-хроматно-фосфатном растворе, зеленого цвета, а во фторидных растворах светло-серого.

Анодное оксидирование стали. После обезжиривания и химической активации стальные детали подвергают анодной обработке в 5%-ном растворе K₂Cr₂O₇ при 45—55 °C, i_a = 3÷5 А/дм² в течение 10—15 мин. Затем детали промывают в воде и подвергают анодной обработке в растворе NaOH (350—

18. Составы растворов (г/л) для анодного оксидирования магниевых сплавов и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
NaOH	140—160	50
Na ₂ PO ₄	—	3
Фенол	3—5	—
Жидкое стекло (ρ = 1,394 г/см ³)	21—23	—
t, °C	60—70	70
i _a , А/дм ²	0,5—10	1,5
t, мин	30	40

600 г/л) при 65—80 °C, i_a = 3÷5 А/дм² в течение 10—30 мин. Оксидная пленка на стали имеет черный цвет с синим отливом.

Для стальных деталей простой конфигурации анодное оксидирование может производиться в кислом растворе, содержащем CrO₃ (150—250 г/л) и HBF₄ (1—2 г/л), при 40—50 °C, i_a = 5÷10 А/дм² в течение 10—15 мин.

Для повышения защитных свойств оксидных пленок после промывки и сушки детали промасливают. Анодное оксидирование меди и ее сплавов. При анодном оксидировании детали из меди и ее сплавов обрабатываются в растворе NaOH (150—250 г/л) при 80—90 °C и i_a = 0,5÷15 А/дм². Катодом служат стальные листы. Перед началом работы необходима проработка электролита с медными

19. Составы растворов (г/л) для анодного оксидирования магниевых сплавов и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора		
	1	2	3
Na ₂ C ₂ O ₇	60—80	—	—
NH ₄ BF ₄	300—400	—	—
H ₂ PO ₄	100—120	—	—
KF	—	—	50—60
t, °C	70—80	15—30	15—30
i _a , А/дм ²	5	5	5
(начальная)	70—90	120—150	120—150
Напряжение, В	30—40	20—40	20—40
t, мин	—	—	—

анодом до получения голубой окраски раствора. Детали загружают в ванну на медных подвесках. При этом рекомендуется выдерживать детали в растворе едкого натра без тока в течение ~2 мин, а затем включать ток и вести анодное окисление. При $i_a = 0,5 \text{ А/дм}^2$ время анодирования составляет 30 мин. При постепенном повышении плотности тока время анодирования существенно уменьшается. Рекомендуется следующий режим анодного окисления: в течение первых 5 мин $i_a = 2 \div 5 \text{ А/дм}^2$, следующие 5 мин $i_a = 10 \div 15 \text{ А/дм}^2$.

После анодного окисления детали промывают в воде, сушат при $\sim 100^\circ\text{C}$ и протирают салфетками, смоченными минеральным маслом. На деталях из меди и медных сплавов образуется черная пленка из оксида меди (II), имеющая толщину ~1 мкм. Она обладает защитными свойствами, эластичностью и высокой механической прочностью.

Анодное окисление фосфористой бронзы производится в растворе состава (г/л):

NaOH	400
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	50
$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	10
Режим обработки:	$t = 80 \div 85^\circ\text{C}$; $i_a = 2 \div 3 \text{ А/дм}^2$; $\tau = 20 \div 30 \text{ мин}$.

Медь, медные покрытия и латунь оксидируются в растворе следующего состава (г/л):

NaOH	150—200
$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	8—15
Режим обработки:	$i_a = 0,8 \div 1,5 \text{ А/дм}^2$; $\tau = 5 \div 10 \text{ мин}$.

При анодировании меди и медных покрытий температура раствора составляет $80\text{—}85^\circ\text{C}$, при обработке латуни — $60\text{—}65^\circ\text{C}$.

Ванны для анодного окисления изготавливают из керамики или эмалированной стали.

Анодное окисление цинка и кадмия. Такое окисление цинка производится в растворах, приведенных в табл. 20. Пленки, полученные в растворе № 1, имеют черный цвет, а в растворе № 2 — черный цвет с зеленым оттенком.

Для цинковых сплавов, содержащих медь и алюминий, продолжительность анодирования в растворе № 1 составляет $40\text{—}60 \text{ мин}$.

20. Составы растворов для анодного окисления цинка и кадмия (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора		
	1	2	3
NaOH	20	—	100—110
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	—	60	10—15
$t, ^\circ\text{C}$	40—45	15—30	15—30
$i_a, \text{А/дм}^2$	6—12	0,5	3—10
$\tau, \text{мин}$	8—10	8—10	0,1—0,25

Анодное окисление кадмия производится в растворе следующего состава (г/л):

NaOH	25—30
K_2CO_3	50—60
Режим обработки:	$t = 15 \div 30^\circ\text{C}$; $i_a = 5 \text{ А/дм}^2$; $\tau = 1 \div 2 \text{ мин}$.

Анодное окисление титановых сплавов. Анодирование титановых сплавов ведут в растворах H_2SO_4 ($180\text{—}200 \text{ г/л}$) или $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ($50\text{—}55 \text{ г/л}$) при $15\text{—}30^\circ\text{C}$. В первом растворе $i_a = 10\text{—}12 \text{ А/дм}^2$ и $\tau = 10 \div 15 \text{ мин}$, во втором — $i_a = 1 \div 1,5 \text{ А/дм}^2$ и $\tau = 50 \div 60 \text{ мин}$.

В процессе роста пленки в растворе щавелевой кислоты в течение $2\text{—}6 \text{ мин}$ напряжение возрастает до $90\text{—}110 \text{ В}$. Дальнейшее анодирование производится при напряжении $100\text{—}120 \text{ В}$, а плотность тока составляет $0,2 \text{ А/дм}^2$. Цвет анодной пленки зависит от состава сплава.

ХРОМИРОВАНИЕ

При хромировании на поверхности металлов и сплавов образуются пленки, в состав которых входят труднорастворимые хромы. Хромирование может производиться химическим и электрохимическим методами.

Химическое хромирование. При химическом хромировании Zn, Cd, Mg, Al и их сплавов они обрабатываются в подкисленных растворах, содержащих $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ и анионы-активаторы (F^- , SO_4^{2-} и т. п.).

В растворах бихроматов и хромового ангидрида, не содержащих анионов-активаторов, Zn, Cd, Al и Mg покрываются пассивной пленкой, состоящей

из малорастворимых оксидов или гидратированных оксидов основного металла и хрома, в результате чего взаимодействие металла с раствором прекращается.

В присутствии анионов-активаторов, например сульфат-анионов, возможно образование растворимых комплексных соединений хрома (III) и сульфат-анионов. Пленка в отдельных местах нарушается, в ней образуются поры, в которых осуществляется контакт основного металла с хромирующим раствором.

С увеличением времени обработки цинка и кадмия в растворе бихромата натрия, калия или аммония с добавками H_2SO_4 толщина хромированной пленки увеличивается, причем основная масса пленки образуется в течение первых 20 с, после чего скорость роста уменьшается, и, начиная с $\sim 60 \text{ с}$, заметного роста пленки не наблюдается.

С увеличением концентрации ионов H^+ скорость роста хромированной пленки сначала увеличивается, достигая максимального значения, а затем уменьшается.

Защитные свойства хромированных пленок определяются наличием в пленке труднорастворимых хромоатов, являющихся эффективными пассиваторами металлов. Пассивирование металлов хромот-анионами происходит за счет образования первичной адсорбционной пленки, а также образования на поверхности металлов пленок, содержащих оксиды хрома и оксиды металлов.

Промывка хромированного цинка в горячей воде и нагрев при $\sim 110^\circ\text{C}$ уменьшают содержание хромот-анионов, в результате чего защитные свой-

ства хромированных пленок уменьшаются. Защитные свойства хромированной пленки зависят от концентрации сульфат-анионов.

Анализ значений pH пограничного с цинком слоя 3%-ного раствора хлорида натрия показал, что в случае нехромированного цинка pH слоя раствора увеличивается, достигая некоего постоянного значения. В случае хромированного цинка pH при-электродного слоя раствора сначала уменьшается, а потом остается постоянным.

В табл. 21 приведены составы растворов для хромирования, а также для одновременного осветления и хромирования цинковых и кадмиевых покрытий. В растворе № 1 производится только хромирование, а в растворах № 2—5 — одновременно осветление и хромирование.

Обычно хромирование производят после обезжелезивания стальных окискованных и кадмированных деталей. Для химической активации оцинкованных и кадмированных деталей производится их обработка в растворе H_2SO_4 ($5\text{—}15 \text{ г/л}$) при $15\text{—}30^\circ\text{C}$ в течение $3\text{—}5 \text{ с}$, после чего выполняют промывку в воде и хромирование в указанных растворах.

В растворе № 5 допускается хромирование до обезжелезивания. После хромирования оцинкованные и кадмированные детали промывают в холодной воде и сушат обдувкой сжатым теплым воздухом. В процессе сушки хромированные пленки уплотняются.

На цинке образуются светло-зеленые радужные с красным оттенком пленки, а на кадмии — желтые пленки при хромировании оцинкованных и

21. Составы растворов для хромирования цинка и кадмия (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора				
	1	2	3	4	5
HNO_3	—	—	3—7	3—7	15—30
H_2SO_4	8—12	3—5	—	—	—
CrO_3	—	80—110	4—6	25—35	15—25
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ или $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	150—200	—	10—15	10—15	10—20
Na_2SO_4	—	—	—	—	—
$t, ^\circ\text{C}$	15—30	15—30	15—30	15—30	15—30
$\tau, \text{мин}$	0,1—0,3	0,05—0,1	0,5—1,0	0,5—1,0	0,1—0,5

кадмированных деталей в растворе следующего состава (г/л):

CrO_3	13—15
H_2SO_4	15—20
Режим обработки:	$t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$; $\tau = 0,5 \div 0,7$ мин.

Выпускаются концентраты для хромирования под названием Ликонда, позволяющие получать на цинковых и кадмиевых покрытиях хроматные пленки с большим спектром цветовых оттенков.

В табл. 22 приведены составы растворов для химического хромирования магния и его сплавов.

В растворе № 1 хромированию подвергаются литые полуфабрикаты и готовые детали. После обработки деталей в составах № 1 и 2 и промывки в воде производится напыление в растворе $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (40—50 г/л) при температуре 90—100°C в течение 15—20 мин.

Неметаллические неорганические покрытия образуются на деталях из магниевых сплавов при обработке в 15—20 %-ном растворе HF при 15—30°C в течение 5 мин с последующей промывкой в воде и дополнительной обработкой в кипящем растворе следующего состава (г/л):

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	25—30
NH_4SO_4	25—30
NH_4OH (25 %-ый)	4—6 мл/л

Режим обработки: pH 5,6—6,6; $\tau = 15$ мин.

При этом на деталях образуется черная пленка с повышенными защитными свойствами.

22. Составы растворов для хромирования магниевых сплавов (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора				
	1	2	3	4	5
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ или $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	15—20	140—160	30—50	70—100	70—100
HNO_3	21—30	—	—	—	—
NH_4Cl	0,75—1,25	—	—	—	—
NH_4SO_4	—	—	—	—	—
CrO_3	—	2—4	—	—	40—50
CH_3COOH	—	1—3	—	—	—
Квасцы алюмокалевые	—	10—22	5—12	—	—
MnSO_4	—	—	8—12	—	—
MgSO_4	—	—	—	30—50	—
	—	—	—	30—50	40—50
$t, ^\circ\text{C}$	70—80	65—80	≤ 3,5	4—5	3—4
$\tau, \text{мин}$	0,5—2,0	0,5—1,5	15—30	15—30	15—30
			5—15	10—30	10—35

Вместо обработки в растворе HF детали из магниевых сплавов разрешается обрабатывать в 3—3,5 %-ном растворе NaF при 15—30°C в течение 10—12 мин с последующей выдержкой в 10—15 %-ном растворе $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ при 90—100°C в течение 30—60 мин.

После промывки в воде и сушки на хромированные детали наносят лакокрасочные покрытия.

При хромировании магниевых сплавов образуются хроматные пленки от соломенно-желтого до темно-коричневого или черного цвета в зависимости от марки сплава и технологии нанесения неметаллических неорганических покрытий.

Химическое хромирование алюминия и его сплавов производится в растворах хромового ангидрида, бихромата натрия в присутствии активаторов — анионов F^- , SiF_6^{2-} . При обработке в растворе без активаторов образуется пассивная пленка, состоящая из оксидов алюминия и хрома (III), в результате чего процесс взаимодействия алюминиевого сплава с анионами $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ прекращается. Введение в раствор соединений хрома (VI) анионов F^- и SiF_6^{2-} приводит к растворению оксидной пленки, и созданию условий дальнейшего взаимодействия алюминия с анионами $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.

Хромирование алюминия и его сплавов производится в растворах, состав которых приведен в табл. 23.

Цвет хроматных пленок на алюминии и его сплавах от желто-золотистого до коричнево-золотистого.

23. Составы растворов для хромирования алюминиевых сплавов (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора		
	1	2	3
CrO_3	3,5—4,5	3,0—3,5	—
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	3,0—3,5	—	150—200
NaF	0,8	—	—
K_2SiF_6	—	3,0—3,5	—
HF	—	—	1—2 мл/л
(40 %-ная)			
$t, ^\circ\text{C}$	15—30	15—30	15—30
$\tau, \text{мин}$	8—10	8—10	6—10

При хромировании в растворе № 3 в состав хроматной пленки входят Al^{3+} , Cr^{3+} и CrO_4^{2-} .

С увеличением времени обработки в указанных растворах толщина хроматной пленки увеличивается. Через некоторый промежуток времени рост пленки прекращается, что связано с выравниванием скорости образования хроматной пленки и скорости ее растворения с наружной стороны.

Непосредственно после образования хроматной пленки и промывки ее в холодной воде она обладает сравнительно низкими механическими свойствами. Промывка пленки в горячей воде приводит к значительному ее обезвреживанию.

После промывки в холодной воде производится сушка обдувкой теплым сжатым воздухом или в сушильном шкафу при $t \leq 70^\circ\text{C}$.

Свежеобразованная хроматная пленка (до сушки) легко растворяется в HNO_3 , в нагретом растворе хромового ангидрида, а также в растворах ортофосфорной и серной кислот с добавками хромового ангидрида. После сушки растворение хроматной пленки в указанных растворах сильно затрудняется.

Скорость коррозии хромированных алюминиевых сплавов в ~2—3 раза ниже, чем нехромированных. Хроматные пленки увеличивают адгезию лакокрасочных покрытий и продляют срок их службы.

Электрохимическое хромирование. Электрохимическое хромирование металлов и сплавов производится путем катодной, анодной или катодно-анодной поляризации в растворах, содержащих соединения хрома (VI). Наибольшее распространение получил метод катодного хромирования. На процессы, протекающие на катоде при хромировании в растворах соединений хрома (VI), большое влияние оказывают посторонние анионы, как и при электроосаждении хрома.

Катодное хромирование широко применяется для защиты от коррозии листового железа. Обработка производится в растворе $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (25—30 г/л) при pH 4—6 и 50—80°C; $i_k = 5 \div 10 \text{ А/дм}^2$; время обработки составляет 1—2 с.

В табл. 24 приведены некоторые составы растворов для катодного хромирования.

Качественные хроматные пленки на сталях и других металлах образуются

24. Составы растворов для катодного хромирования (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора				
	1	2	3	4	5
$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	2—20	—	—	—	—
$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	—	100—500	—	—	—
CH_3COOH	3—30	—	200—450	50	50—130
CrO_3	—	100—	1—3 мл/л	—	—
HNO_3 ($\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$)	—	700 мл/л	—	—	—
Анионы F^-	—	—	1—3	—	—
Катионы Cr^{3+}	—	—	10—15	—	—
H_2SO_4	—	—	—	30	0,05—0,5
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	—	—	—	—	—
$t, ^\circ\text{C}$	15—30	20—55	35—40	50	40—70
$i_k, \text{А/дм}^2$	1—10	0,6—20	40—45	20	3—15
$\tau, \text{мин}$	0,01—0,1	2—3	5—7	0,06	2—3

в насыщенном гидроксидом кадмия растворе хромата кадмия следующего состава (г/л):

CdSO_4	140—270
$\text{Cd}(\text{OH})_2$	до насыщения

Режим обработки: $t = 15 \div 30^\circ\text{C}$; $t_K = 2 \div 16$ А/дм²; $\tau = 10 \div 2$ мин.

При катодной поляризации в этом растворе на стали образуется хроматная пленка, состав которой состоит главным образом из дигидроксохромата кадмия $(\text{CdOH})_2\text{CrO}_4$.

На защитные свойства хроматных пленок большое влияние оказывает их масса. Так, при увеличении массы хроматных пленок от 4 до 10 г/м² время появления коррозии стали в соляной камере увеличивается от 4 до 11 сут.; без хроматирования сталь в указанных условиях обнаруживает коррозию через 0,08 сут.

При катодной поляризации стали в растворе хромата магния (насыщенного гидроксидом магния) качественные хроматные пленки образуются в растворе следующего состава (г/л):

MgCrO_4	140—270
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	до насыщения

Режим обработки: $t = 15 \div 30^\circ\text{C}$; $t_K = 1 \div 14$ А/дм²; $\tau = 5 \div 2$ мин.

С увеличением концентрации хромата магния допустимая плотность тока, необходимая для получения качественных пленок, увеличивается.

После хроматирования детали промывают в холодной воде и затем сушат, обдувая их сжатым теплым воздухом.

Существенный недостаток хроматных пленок, образующихся при катодной поляризации стали в растворах хромата магния и кадмия, — их сравнительно низкие механические свойства.

При катодной поляризации стали в растворах, содержащих одновременно хроматы и монофосфаты, в результате увеличения pH прикатодного слоя раствора на катоде могут совместно образовываться труднорастворимые фосфаты и гидроксохроматы. Такая хроматно-фосфатная пленка обладает повышенными механическими свойствами фосфатных пленок и высокими защитными свойствами хроматных.

Качественная хроматно-фосфатная пленка, в состав которой входят

Mg^{2+} , CrO_4^{2-} , NH_4^+ , PO_4^{3-} и Cr^{3+} , образуется при катодной поляризации стали в растворе следующего состава (г/л):

MgCrO_4	140—270
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0,5—2
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	0,2—1

Режим обработки: pH 6,9—7,2; $t = 55 \div 60^\circ\text{C}$; $t_K = 6 \div 12$ А/дм²; $\tau = 10 \div 15$ мин.

Цвет хроматно-фосфатных пленок желтый с зеленым оттенком. Хроматно-фосфатные пленки на стали имеют высокую стойкость к истиранию. Так, если пленки, полученные при катодной поляризации в растворе хромата магния, насыщенном гидроксидом магния, истираются через 0,5 мин, то хроматно-фосфатные пленки истираются через 130—140 мин.

Защитные свойства хроматно-фосфатных пленок на стали высокие: при массе пленки 4 г/м² время появления коррозии в камере соляного тумана (разбрызгивание 3 %-ного раствора NaCl) составляет 7 сут., при 7 г/м² — 13 сут., при 10 г/м² — 20 сут., а при 13 г/м² — 23—25 сут.

Защитные свойства хроматно-фосфатных пленок отчетливо проявляются также на цинке, кадмии, алюминии и его сплавах. Проведенные коррозионные испытания в камере соляного тумана показали, что защитные свойства хроматно-фосфатных пленок на цинковом и кадмиевом покрытиях в 2—3 раза выше, чем хроматных, полученных при химическом хроматировании. Защитные свойства хроматно-фосфатных пленок на алюминиевых сплавах аналогичны анодно-оксидным покрытиям при анодировании в H_2SO_4 .

Хроматно-фосфатные покрытия рекомендуются применять для защиты от коррозии сталей (в том числе и высокопрочных), цинковых и кадмиевых покрытий, а также алюминиевых сплавов и т. п. Катодное хроматирование не оказывает влияния на пластичность, выносливость высокопрочных сталей.

Химическое и электрохимическое тонирование. Для придания медным и никелевым покрытиям голубого и синего цвета производится химическая обработка в растворе следующего состава (г/л):

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	240—250
$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	25—30
лимонная кислота	25—30

Режим обработки: $t = 15 \div 30^\circ\text{C}$; $\tau = 4 \div 60$ мин.

При катодной поляризации медные покрытия приобретают цвет от золотистого до желтого в растворе следующего состава (г/л):

CuSO_4	30—45
NaOH	18—30
виннокислый калий (средний)	25—30

Режим обработки: $t_K = 0,015 \div 0,02$ А/дм²; $t = 15 \div 30^\circ\text{C}$; $\tau = 1 \div 10$ мин.

Вместо виннокислого калия (среднего) можно использовать сахар-рафинад в количестве 85—90 г/л.

Для придания коричневого, красно-коричневого и сине-зеленого цвета латунные детали обрабатывают в растворе следующего состава (г/л):

NaCl	50—70
NH_4Cl	50—70
NH_4CNS	20—45

Режим обработки: $t = 15 \div 30^\circ\text{C}$; $t_K = 0,01 \div 0,02$ А/дм²; $\tau = 2 \div 20$ мин.

Для получения ярко-вишневого, малинового, синего и желто-коричневого цвета после обработки в указанном растворе латунные детали дополнительно обрабатываются в растворе, содержащем (г/л):

NaOH или Na_2PO_4	30—40
Na_2CO_3	30—40

Режим обработки: $t_K = 0,5 \div 0,7$ А/дм²; затем производят повторное тонирование.

Цинковое покрытие приобретает черный цвет при химической обработке в растворе следующего состава (г/л):

$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	15—20
ZnCl_2	15—20
NH_4SO_4	70—80
NH_4CNS	15—20

Режим обработки: $t = 15 \div 30^\circ\text{C}$; $\tau = 1 \div 3$ мин.

Оловянное покрытие «Кристаллит» окрашивается в желтый, зеленый, малиновый и синий цвет в растворе следующего состава (г/л):

CuSO_4	8—15
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	125—150

Режим обработки: $t = 35 \div 40^\circ\text{C}$; $t_K = 0,005 \div 0,010$ А/дм²; $\tau = 3 \div 20$ мин. В начале процесса плотность тока поддерживается 0,1—0,2 А/дм² в течение 2 мин.

ПАССИВИРОВАНИЕ

Пассивированию подвергаются коррозионно-стойкие стали, медь, оловянные, серебряные и медные покрытия.

После удаления окисных деталей из хромированных сталей типа 12Х18Н9Т подвергаются пассивированию в растворе HNO_3 (250—500 г/л) при 45—55 $^\circ\text{C}$ в течение 15—20 мин, а детали из высокохромистых сталей типа 20Х13 — в растворе HNO_3 (180—220 г/л) с добавкой $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ или $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (20—25 г/л) при 45—55 $^\circ\text{C}$ в течение 20—30 мин или в растворе H_2PO_4 (50—100 г/л) с CrO_3 (150—200 г/л) при температуре 70—80 $^\circ\text{C}$ в течение 20—30 мин.

При термообработке деталей из хромистых и хромоникелевых сталей в воздушной печи могут образоваться слои с пониженным содержанием хрома в твердом растворе и, следовательно, с низким сопротивлением коррозии. При пассивировании таких деталей происходит их травление. Для повышения коррозионной стойкости таких деталей следует удалить механическим или химическим путем слой толщиной 0,15 мм.

Контроль качества поверхности после пассивирования производится путем обработки раствором CuSO_4 (16 г/л) с H_2SO_4 (10 г/л). После натирания поверхности этим раствором деталь выдерживают в течение 5—6 мин, а затем протирают насухо. Появление контактной меди на поверхности детали свидетельствует о низкой коррозионной стойкости.

Медь и ее сплавы пассивируют в растворе следующего состава (г/л):

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ или $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	90—130
H_2SO_4	15—20

Режим обработки: $t = 15 \div 30^\circ\text{C}$; $\tau = 0,25 \div 0,60$ мин.

Оловянные покрытия пассивируют в растворе следующего состава (г/л):

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ или $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	80—100
--	--------

Режим обработки: $t = 80 \div 95^\circ\text{C}$; $\tau = 10 \div 20$ мин.

Серебряные покрытия для сохранения яркости кислотными флюсами пассивируют в растворе следующего состава (г/л):

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	30—50
KOH	30—50

Режим обработки: $t = 15 \div 30^\circ\text{C}$; $\tau = 5 \div 10$ мин. После пассивирования детали промывают в воде и сушат.

АНАЛИЗ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩЕГО
КОМПОНЕНТА В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

Медь. Комплексонометрический метод.

Необходимые реактивы. Трилон Б — 0,05 н. раствор; NH_4OH — 12 %-ный раствор; мурексид — смесь с NaCl .
Ход анализа. 10 мл электролита разбавляют в мерной колбе водой до 250 мл. В коническую колбу вместимостью 250 мл отбирают аликвоту 10 мл (0,4 мл исходного электролита), добавляют 50 мл воды, около 5 мл NH_4OH (до появления синей окраски аммиака меди), 0,5 г мурексида и титруют трилоном Б до перехода буровато-желтой окраски раствора в красно-фиолетовую.

Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{v \cdot 0,006242k \cdot 1000}{m},$$

где v — количество 0,05 н. трилона Б, израсходованного на титрование, мл; 0,006242 — теоретический титр 0,05 н. трилона Б по сульфату меди, г/мл; k — коэффициент нормальности 0,05 н. трилона Б; m — здесь и далее количество электролита, взятого для анализа, мл.

Иодометрический метод. **Необходимые реактивы.** $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ — 0,1 н. раствор; реактив Брунса; H_2SO_4 1:5; $\text{KF} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — соль; крахмал растворимый.

Ход анализа. Отбирают 20 мл разбавленного в 10 раз электролита (2 мл исходного) в коническую колбу вместимостью 250 мл, прибавляют 50 мл воды, 25 мл H_2SO_4 , 0,5–0,8 г $\text{KF} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 15 мл реактива Брунса и титруют выделившийся йод $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ в присутствии крахмала (добавляют к концу титрования) до исчезновения

синей окраски раствора. Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{v \cdot 0,02496k \cdot 1000}{m},$$

где v — количество 0,1 н. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, израсходованного на титрование, мл; 0,02496 — теоретический титр 0,1 н. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ по $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, г/мл; k — коэффициент нормальности 0,1 н. тиосульфата натрия.

При определении $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ при использовании йодометрического метода теоретический титр 0,1 н. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ 0,006354 г/мл, коэффициент пересчета с меди на борфторид 5,432.

Никель. Комплексонометрический метод. **Необходимые реактивы.** Трилон Б — 0,1 н. раствор; NH_4OH — 25 %-ный раствор; аммиачный буферный раствор; мурексид — смесь с NaCl ; сульфарсазэн.

Ход анализа. Разбавляют 25 мл электролита в мерной колбе водой до 250 мл и отбирают аликвоту 10 мл (1 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 250 мл. Добавляют 50 мл NH_4OH , 0,1–0,2 г мурексида и титруют трилоном Б до изменения окраски раствора из желтой в красно-фиолетовую. При использовании сульфарсазэна вместо 5 мл NH_4OH добавляют 10 мл аммиачного буферного раствора (испытанный раствор имеет pH 9,5), 8–10 капель сульфарсазэна и титруют трилоном Б до изменения окраски раствора из розовато-сиреневой в зеленую.

Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = \frac{v \cdot 0,014044k \cdot 1000}{m},$$

где v — количество 0,1 н. трилона Б, израсходованного на титрование, мл;

0,014044 — теоретический титр 0,1 н. трилона Б по $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, г/мл; k — коэффициент нормальности 0,1 н. трилона Б.

Весовой метод. **Необходимые реактивы.** NH_4OH — 25 %-ный раствор; $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_6$ — 10 %-ный раствор; диметилглиоксим $(\text{CH}_3)_2\text{C}_2(\text{NOH})_2$ — 1 %-ный раствор (щелочной или спиртовой).

Ход анализа. Отбирают 5 мл разбавленного в 10 раз электролита (0,5 мл исходного) в стакан вместимостью 300 мл, добавляют 100 мл $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_6$ и NH_4OH до появления слабого запаха. При использовании щелочного раствора диметилглиоксима аммиак прибавляют до слабосильной реакции. Раствор нагревают до 60–70 °C и добавляют 50 мл диметилглиоксима. Выдерживают 15–20 мин в теплом месте и фильтруют осадок через фильтр «белая лента». Осадок на фильтре промывают горячей водой, сушат, осторожно (во избежание сублимации) прокалывают 30 мин при 550–650 °C и взвешивают.

Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = \frac{A \cdot 3,756 \cdot 1000}{m},$$

где A — масса осадка закиси никеля, г; 3,756 — коэффициент пересчета с NiO на $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Фотоколориметрический метод. **Ход анализа.** 10 мл электролита отбирают в мерную колбу вместимостью 100 мл, разбавляют до метки водой. Холостая проба — дистиллированная вода. Измеряют экстинцию последующего раствора против холодной пробы на фотоколориметре с красным светофильтром в кювете шириной $l = 10$ мм. Содержание сульфата никеля определяют по калибровочному графику.

Построение калибровочного графика. Готовят растворы, содержащие от 50 до 300 г/л $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (интервал в 50 г/л). Измеряют оптическую плотность растворов. По полученным значениям оптической плотности и соответствующим значениям содержания серноокислого никеля строят калибровочный график.

В случае борфтористоводородного электролита анализ ведут комплексонометрическим методом. Предварительно к 10 мл электролита в конической колбе на 250 мл прибавляют по 20 мл воды и H_2SO_4 (1:1), после чего выпаривают до паров SO_3 . Остаток охлаждают, растворяют в теплой воде, переносят в мерную колбу вместимостью 100 мл и после охлаждения разбавляют водой до метки. Отбирают аликвоту 10 мл и титруют.

Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{Ni}(\text{BF}_4)_2 = \frac{v \cdot 0,002935k \cdot 3,957 \cdot 1000}{m},$$

где v — количество 0,1 н. трилона Б, израсходованного на титрование; 0,002935 — теоретический титр раствора трилона Б по никелю, г/мл; k — коэффициент нормальности; 3,957 — коэффициент пересчета на борфторид никеля.

Хром шестивалентный. Объемный метод (прямое титрование). **Необходимые реактивы.** Соль Мора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$ — 0,2 н. раствор в 10 %-ной H_2SO_4 ; дифениламин $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{N}$; кислота фенилантраниловая $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{O}_2\text{N}$; H_3PO_4 (плотность 1,7 г/см³); H_2SO_4 — 1:1.

Ход анализа. 10 мл электролита разбавляют в мерной колбе водой до 250 мл и отбирают аликвоту 5 мл (0,2 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 500 мл. Добавляют 200 мл воды, 2 капли $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{N}$, 2 мл H_3PO_4 и титруют солью Мора до перехода окраски раствора из синей в зеленую. При применении фенилантраниловой кислоты после введения фосфорной кислоты добавляют 10 мл H_2SO_4 ; переход окраски — из красной в зеленую.

Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{CrO}_3 = \frac{v \cdot 0,001733k \cdot 1000 \cdot 1,92}{m},$$

где v — количество 0,2 н. соли Мора, израсходованной на титрование, мл; 0,001733 — теоретический титр 0,2 н. соли Мора по хрому, г/мл; k — коэффициент нормальности 0,2 н. соли Мора; 1,92 — коэффициент пересчета с хрома на хромовый ангидрид.

Перманганатометрический метод (обратное титрование). Необходимые реактивы.

KMnO_4 — 0,1 н. раствор;
 H_2SO_4 — 1:4;
 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — 0,2 н. раствор в 10 %-ной H_2SO_4 .

Установка соотношения между 0,2 н. раствором соли Мора и 0,1 н. раствором KMnO_4 (холостая проба). К точно отмеренным 15 мл раствора соли Мора в конической колбе вместимостью 500 мл добавляют 100 мл воды, 100 мл H_2SO_4 и титруют перманганатом калия до появления розовой окраски раствора, не исчезающей 1—2 мин. Вследствие неустойчивости раствора соли Мора это соотношение устанавливают ежедневно.

Ход анализа. Разбавляют 10 мл электролита в мерной колбе водой до 250 мл и отбирают аликвоту 5 мл (0,2 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 500 мл. Добавляют 120 мл воды, 80 мл H_2SO_4 и 15 мл точно отмеренного раствора соли Мора. Окраска раствора должна измениться от желтой до зеленовато-голубой; если окраска не изменилась, добавляют еще точно отмеренное количество раствора соли Мора, оттитровывают перманганатом калия до появления бледно-розовой окраски раствора.

Расчет содержания (г/л) ведут по формуле

$$\text{CrO}_3 = \frac{(v - v_1) \cdot 0,00333k \cdot 1000}{m},$$

где v — количество 0,1 н. KMnO_4 , израсходованного на титрование холостой пробы, мл; v_1 — количество 0,1 н. KMnO_4 , израсходованного на титрование избытка соли Мора, мл; 0,00333 — теоретический титр 0,1 н. KMnO_4 по CrO_3 , г/мл; k — коэффициент нормальности 0,1 н. KMnO_4 .

Хром трехвалентный. Объемный метод. Метод основан на окислении хрома (III) в (VI) персульфатом аммония в присутствии катализатора — ионов серебра. После разрушения персульфата хромат титруют раствором соли Мора в присутствии дифениламина или фенилантраниловой

кислоты (вариант 1-й — прямое титрование) или восстанавливают раствором соли Мора, избыток которого оттитровывают перманганатом калия (вариант 2-й — обратное титрование). Содержание окиси хрома определяют по разности между общим содержанием хрома и количеством хрома (VI).

Необходимые реактивы. H_2SO_4 — 1:4; H_2SO_4 — 1:1; HCl — 1:3; H_3PO_4 (плотность 1,7 г/см³); $\text{MnSO}_4 \cdot \times 7\text{H}_2\text{O}$ — 1 %-ный раствор; AgNO_3 — 0,2 %-ный раствор; $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ — 10 %-ный раствор; KMnO_4 — 0,1 н. раствор; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4$ — 0,2 н. раствор в 10 %-ной H_2SO_4 ; $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{N}$; кислота фенилантраниловая $\text{C}_{12}\text{H}_9\text{O}_2\text{N}$.

Ход анализа. К аликвоте 5 мл (0,2 мл исходного электролита; разведение — см. анализ на Cr (VI)) в конической колбе вместимостью 500 мл добавляют 200 мл воды, 40 мл H_2SO_4 (1:4), 2—3 капли MnSO_4 и доводят до кипения; затем добавляют 10 мл AgNO_3 , 20 мл $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ и кипятят 15 мин до появления розовой окраски; прибавляют 10 мл HCl и нагревают до исчезновения розовой окраски.

Вариант 1-й. В охлажденный раствор добавляют 2 капли дифениламина и заканчивают по методике определения хромового ангидрида (прямое титрование). Расчет общего содержания хрома см. на с. 73.

Вариант 2-й. В охлажденный раствор добавляют 15 мл соли Мора и заканчивают по методике определения хромового ангидрида методом обратного титрования.

Расчет содержания (г/л) проводят по формуле

$$\text{CrO}_3 \text{ общ} = \frac{(v - v_2) \cdot 0,00333k \cdot 1000}{m},$$

где v_2 — количество 0,1 н. перманганата калия, израсходованного на титрование избытка соли Мора при определении окиси хрома, мл; остальные обозначения — см. анализ на Cr (VI).

Расчет содержания (г/л) проводят по формуле

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 = (\text{CrO}_3 \text{ общ} - \text{CrO}_3) \cdot 0,76,$$

где 0,76 — коэффициент пересчета с CrO_3 на Cr_2O_3 .

Цинк. Комплексометрический метод. Необходи-

мые реактивы. NH_4OH — 25 %-ный раствор; трилон Б — 0,05 н. раствор; сульфатмарен; эриохром черный Т — смесь с NaCl .

Ход анализа. К 10 мл отфильтрованного электролита в мерной колбе вместимостью 200 мл добавляют NH_4OH до растворения образовавшихся гидратов и разбавляют водой до метки. Аликвоту 10 мл (0,5 мл исходного электролита) отбирают в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 50 мл воды, 0,3 г эриохрома черного Т или 1 мл сульфатмарена и титруют трилоном Б до изменения окраски раствора.

Расчет содержания (г/л) проводят по формуле

$$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = \frac{v \cdot 0,001634k \cdot 1000 \cdot 4,398}{m},$$

где v — количество 0,05 н. трилона Б, израсходованного на титрование, мл; 0,001634 — теоретический титр 0,05 н. трилона Б по цинку, г/мл; k — коэффициент нормальности 0,05 н. трилона Б; 4,398 — коэффициент пересчета на сульфат цинка.

Весовой метод. Необходимые реактивы. HNO_3 (плотность 1,4 г/см³); CH_3COOH — 80 %-ная; NH_4OH — 25 %-ный раствор; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ — 10 %-ный раствор; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ — 1 %-ный раствор; метиловый оранжевый.

Ход анализа. К 5 мл электролита в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 5 мл воды, 2 мл HNO_3 , раствор нагревают и выпаривают досуха. После охлаждения доливают 100 мл горячей воды и нейтрализуют аммиаком по метиловому оранжевому до слабого запаха. Добавляют уксусную кислоту до нейтральной или слабощелочной реакции и нагревают раствор до кипения. После охлаждения добавляют 20 мл 10 %-ного $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ и нагревают раствор почти до кипения. Осадок отстаивают в теплом месте 30 мин, фильтруют через двойной фильтр «синяя лента», промывают горячим 1 %-ным раствором $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, затем 3—4 раза холодной водой, сушат, прокалывают при 900 °C (не выше), охлаждают и взвешивают.

Расчет содержания (г/л) проводят по формуле

$$\text{ZnO} = \frac{A \cdot 0,534 \cdot 1000}{m},$$

где A — масса осадка пирофосфата цинка, г; 0,534 — коэффициент пересчета с пирофосфата цинка на окись цинка.

Окись цинка определяют также комплексометрическим методом. Количество разбавленного раствора для титрования — 20 мл. Коэффициент пересчета с Zn на ZnO равен 1,2447.

При анализе борфтористоводородного электролита используют комплексометрический метод. Коэффициент пересчета на борфторид цинка равен 3,65.

Кадмий. Комплексометрический метод. Необходимые реактивы. NH_4OH — 25 %-ный; NH_4OH — 1:1; трилон Б — 0,1 н. раствор; аммиачный буферный раствор; H_2SO_4 — 1:5; H_2SO_4 — 1:1; кислота сульфосалициловая $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_6\text{S} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — 20 %-ный раствор; эриохром черный Т — смесь с NaCl ; метиловый красный.

Ход анализа. К 10 мл электролита в мерной колбе вместимостью 200 мл добавляют 25 %-ный NH_4OH до изменения цвета бумаги конго на красный и избыток 2 мл, охлаждают и разбавляют до метки водой. Отфильтрованный через сухой фильтр в сухую колбу раствор в количестве 10 мл переносят в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 20 мл воды, 2 капли метилового красного, нейтрализуют серной кислотой (1:5) и аммиаком (1:1) до окрашивания раствора в красный цвет. Добавляют 15 мл буферного раствора, 0,3 г эриохрома черного Т и титруют трилоном Б до перехода окраски раствора в синюю. Если при отделении железа и алюминия аммиаком цвет бумаги конго не изменяется, то аммиак в мерную колбу не вводят. В этом случае ход анализа следующий. К 10 мл разбавленного в 10 раз электролита в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 50 мл воды, 10 мл сульфосалициловой кислоты и 2 капли метилового красного. Раствор нейтрализуют серной кислотой (1:1) и аммиаком (1:1) до перехода окраски его в желтую, добавляют 15 мл буферного раствора, 0,3 г эриохрома чер-

ного Т и титруют трилоном Б до перехода окраски раствора из фиолетового в темно-зеленую.

Расчет содержания (г/л) ведут по формуле:

$$\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O} = \frac{v \cdot T \cdot 1000 \cdot 2,282}{m},$$

где v — количество раствора трилона Б, израсходованного на титрование, мл; T — титр раствора трилона Б по кадмью (теоретический титр 0,1 н. трилона Б — 0,00562 г/мл, трилона Б 0,05 н. — 0,00281 г/мл); 2,282 — коэффициент пересчета с кадмия на CdSO_4 .

При определении в электролите оксида кадмия коэффициент пересчета с кадмия составляет 1,142 г/мл, при определении борфторида кадмия — 0,014301 г/мл, а при определении хлорида кадмия — 2,031 г/мл. В последнем случае используют раствор 0,05 н. трилона Б, теоретический титр которого по кадмью равен 0,00281. При этом ведут анализ 25 мл разбавленного в 10 раз электролита.

Железо. Перманганатометрический метод. *Необходимые реактивы.* H_2SO_4 (плотность 1,84 г/см³); KMnO_4 — 0,1 н. раствор; смесь Циммермана—Рейнгартта.

Ход анализа. Отбирают 10 мл разбавленного в 10 раз электролита (1 мл исходного) в коническую колбу вместимостью 250 мл, прибавляют 90 мл воды, 5 мл серной кислоты, 20 мл смеси Циммермана—Рейнгартта и медленно титруют перманганатом калия до появления розовой окраски раствора, не исчезающей в течение 1 мин.

Содержание железа (г-ион/л) рассчитывают по уравнению

$$\text{Fe} = \frac{v \cdot 0,005585k \cdot 1000}{m},$$

где v — количество 0,1 н. KMnO_4 , израсходованного на титрование, мл; 0,005585 — теоретический титр KMnO_4 по железу, г/мл; k — коэффициент нормальности KMnO_4 .

При пересчете на $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ количество железа умножают на 4,978, при пересчете на $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ умножают на 3,559.

Олово. Йодометрический метод. *Необходимые реактивы.* J_2 — 0,1 н. раствор; HCl (плотность

1,19 г/см³); NaHCO_3 — насыщенный раствор; цинк металлический гранулированный марки 110 или алюминий (стружка) марки А999; крахмал растворимый.

Ход анализа. Отбирают 10 мл электролита в мерную колбу вместимостью 100 мл, в которую предварительно влило 20 мл HCl , и разбавляют водой до метки. Аликвоту 20 мл (2 мл исходного электролита) переносят в коническую колбу вместимостью 250 мл, прибавляют 20 мл HCl , 30 мл воды и 0,5 г алюминия или 1—2 г цинка. Колбу закрывают пробкой с содовым затвором (воронка Геккеля или колба с насыщенным раствором двууглекислого натрия, в который погружена отводная трубка от реакционной колбы). Раствор нагревают до полного восстановления олова. После прекращения выделения водорода раствор нагревают до полного растворения алюминия (цинка) и выделившегося олова. Раствор быстро охлаждают, вынимают пробку с содовым затвором, добавляют 20 мл NaHCO_3 и быстро титруют 0,1 н. йодом в присутствии крахмала до не исчезающей синей окраски раствора.

Расчет содержания (г-ион/л) ведут по формуле

$$\text{Sn}_{\text{общ}} = \frac{v \cdot 0,005935k \cdot 1000}{m},$$

где v — количество 0,1 н. йода, израсходованного на титрование, мл; 0,005935 — теоретический титр 0,1 н. йода по олову, г/мл; k — коэффициент нормальности 0,1 н. йода.

Комплексонометрический метод. *Необходимые реактивы.* Трилон Б — 0,1 н. раствор; $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$ — 0,1 н. раствор; HCl — 1:1; $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ — 20 %-ный раствор; уротропин $\text{C}_6\text{H}_4\text{N}_4$ — 20 %-ный раствор; кислоголовый оранжевый.

Ход анализа. Разбавляют 25 мл электролита в мерной колбе вместимостью 100 мл до метки водой и отбирают аликвоту 20 мл (5 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 500 мл. Добавляют 5 мл HCl , 15—20 мл (точно) трилона Б, 100—150 мл воды (рН 1—2 по индикаторной бумаге) и кипятят 2—3 мин. После охлаждения к раствору добавляют уксуснокислый аммоний до рН 8

Содержание свинца (г-ион/л) определяют по формуле

$$\text{Pb} = \frac{v \cdot 0,01036k \cdot 1000}{m},$$

где v — количество 0,1 н. трилона Б, израсходованного на титрование, мл; 0,01036 — теоретический титр 0,1 н. трилона Б по свинцу, г/мл; k — коэффициент нормальности 0,1 н. трилона Б.

Йодометрический метод. *Необходимые реактивы.* $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ — 0,1 н. раствор; KJ — 10 %-ный раствор; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ — 10 %-ный раствор; NH_4OH — 25 %-ный раствор; CH_3COOH — ледяная; HCl (плотность 1,19 г/см³); крахмал растворимый; NaCl — насыщенный солянокислый раствор (к 1 л насыщенного раствора NaCl добавляют 200 мл HCl плотностью 1,19 г/см³).

Ход анализа. Отбирают 10 мл разбавленного в 10 раз электролита (1 мл исходного) в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 20 мл воды и нейтрализуют NH_4OH по бумаге конго до щелочной реакции. Добавляют 4 мл CH_3COOH , 15 мл $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, нагревают до кипения и выдерживают на водяной бане 4—5 мин. Осадок фильтруют через фильтр «синяя лента» и промывают 3—4 раза горячей водой, подкисленной уксусной кислотой. Осадок на фильтре растворяют солянокислым раствором NaCl , собирая раствор в колбу, в которой производилось осаждение, и промывают фильтр водой 2—3 раза. К полученному раствору добавляют 5 мл HCl , 10 мл KJ и через 5 мин оттитровывают выделившийся йод тиосульфатом натрия в присутствии крахмала до исчезновения синей окраски раствора.

Содержание (г-ион/л) рассчитывают по формуле

$$\text{Pb} = \frac{v \cdot 0,00691k \cdot 1000}{m},$$

где v — количество 0,1 н. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, израсходованного на титрование, мл; 0,00691 — теоретический титр 0,1 н. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ по свинцу, г/мл; k — коэффициент нормальности 0,1 н. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Расчет содержания $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ (г/л) проводят по формуле

$$\text{Pb}(\text{BF}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = B \cdot 2,36,$$

(около 35 мл), 10—15 мл уротропина (до рН 5,5), 5 капель кислоголового оранжевого и оттитровывают избыток трилона Б уксуснокислым цинком до перехода желтой окраски раствора в оранжевую или малиновую.

Содержание (г-ион/л) рассчитывают по формуле

$$\text{Sn}_{\text{общ}} = \frac{(v - v_1) \cdot 0,005935k \cdot 1000}{m},$$

где v — количество 0,1 н. трилона Б, введенного в пробу, мл; v_1 — количество 0,1 н. $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$, израсходованного на титрование избытка трилона Б, мл; C — соотношение концентратов 0,1 н. растворов трилона Б и $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$; 0,005935 — теоретический титр 0,1 н. трилона Б по олову, г/мл; k — коэффициент нормальности 0,1 н. трилона Б.

При анализе щелочных электролитов пробу электролита 10 мл предварительно подкисляют концентрированной соляной кислотой до слабокислой реакции по метиловому оранжевому в мерной колбе на 100 мл, добавляют избыток кислоты 5 мл и разбавляют водой до метки.

Далее определение олова (IV) ведут титрованием, как указано выше. Расчет содержания стаплат натрия (г/л) ведут по уравнению

$$\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = B \cdot 2,246,$$

где B — содержание олова (IV), г-ион/л; 2,246 — коэффициент пересчета с олова на стаплат натрия.

Свинец. Комплексонометрический метод. *Необходимые реактивы.* Трилон Б — 0,1 н. раствор; NH_4OH — 25 %-ный раствор; винная кислота $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ — 10 %-ный раствор; аммиачный буферный раствор; эриохром черный Т — смесь с хлористым натрием; сульфасазен.

Ход анализа. Отбирают 10 мл разбавленного в 10 раз электролита (1 мл исходного) в коническую колбу вместимостью 250 мл, вводят 50 мл воды, 5 мл $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ и NH_4OH до щелочной реакции по бумаге конго. Добавляют 10 мл буферного раствора, 0,2 г эриохрома черного Т или 1 мл сульфасазена и титруют трилоном Б до изменения окраски раствора от фиолетово-красной до синей (с эриохромом черным Т) или оранжево-красной до соломенно-желтой (с сульфасазеном).

где B — содержание свинца, г-ион/л; 2,36 — коэффициент пересчета со свинца на $Pb(BF_4)_2$.

Серебро. Объемный метод. *Необходимые реактивы.* NH_4CNS — 0,1 н. раствор; железоаммонийные квасцы [0,864 г подкисляют H_2SO_4 (плотность 1,84 г/см³), доводят до 1 л, 10 мл полученного раствора разбавляют в мерной колбе вместимостью 100 мл]; H_2SO_4 (плотность 1,84 г/см³); HNO_3 (плотность 1,4 г/см³); $AgNO_3$ — 0,1 н. раствор.

Ход анализа. Отобранные пипеткой 3—5 мл электролита переносят в коническую колбу вместимостью 250 мл. Добавляют 15 мл H_2SO_4 и 5 мл HNO_3 . Упаривают раствор под тягой до появления белых паров, затем охлаждают до комнатной температуры. Добавляют 100 мл дистиллированной воды и перемешивают раствор до полного растворения осадка. Через 30—60 мин добавляют 1 мл раствора железоаммонийных квасцов и титруют раствором роданистого аммония до исчезновения розовой окраски.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$Ag = \frac{v \cdot 0,108k \cdot 1000}{m}$$

где v — количество раствора NH_4CN , израсходованное на титрование, мл; k — коэффициент нормальности; 0,108 — коэффициент пересчета на содержание серебра.

Золото. Объемный метод. *Необходимые реактивы.* KJ — 10 %-ный раствор; $Na_2S_2O_3$ — 0,1 н. раствор; крахмал — 1 %-ный раствор; HCl (1,19 г/см³).

Ход анализа. Пробу электролита с содержанием золота не более 0,01 г помещают в фарфоровую чашку, добавляют 20 мл HCl и выпаривают содержимое досуха. Содержимое чашки горячей водой смывают в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 2—3 мл раствора KJ и титруют раствором $Na_2S_2O_3$ в присутствии нескольких капель раствора крахмала до обесцвечивания синего окрашивания пробы.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$Au = \frac{v \cdot 0,0986k \cdot 1000}{m}$$

где v — количество раствора $Na_2S_2O_3$,

пошедшее на титрование, мл; k — коэффициент нормальности; 0,0986 — коэффициент пересчета на содержание золота.

АНАЛИЗ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ И ДРУГИХ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Цианид. *Необходимые реактивы.* NH_4OH — 25 %-ный раствор; KJ — 10 %-ный раствор; $AgNO_3$ — 0,1 н. раствор.

Ход анализа. 3—5 мл электролита помещают в коническую колбу вместимостью 150 мл. Затем добавляют 5—6 мл раствора NH_4OH и 1 мл раствора KJ . Титруют раствором $AgNO_3$ до появления исчезающей муты. Содержание KCN и $NaCN$ (г/л) определяют по формулам

$$KCN = \frac{v \cdot 0,13k \cdot 1000}{m}$$

$$NaCN = \frac{v \cdot 0,098k \cdot 1000}{m}$$

где v — количество раствора $AgNO_3$, затраченное на анализ, мл; k — коэффициент нормальности; 0,13 и 0,098 — коэффициенты пересчета на содержание KCN или $NaCN$.

Пирофосфат. Электролит меднения. *Необходимые реактивы.* $NaOH$ — 0,1 н. раствор; $ZnSO_4 \times 7H_2O$ — 5 %-ный раствор, нейтрализованный 0,1 н. $NaOH$ по метиловому оранжевому; метиловый оранжевый.

Ход анализа. К 20 мл разбавленного в 10 раз электролита (2 мл исходного) в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 40 мл воды, 3—4 капли индикатора и нейтрализуют едким натром. Добавляют 15 мл $ZnSO_4$ и образовавшуюся кислоту оттитровывают едким натром. Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O = \frac{v \cdot 0,0223k \cdot 1000}{m}$$

где v — количество раствора $NaOH$, израсходованного на титрование, мл; 0,0223 — теоретический титр $NaOH$ по $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$.

Электролит цинкования. *Необходимые реактивы.* HCl — 0,5 н. раствор; индикатор смешанный (метиловый оранжевый + метиловый синий).

Ход анализа. К 10 мл электролита в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 50 мл воды, 5 капель индикатора и титруют соляной кислотой до перехода окраски раствора из зеленой в фиолетовую. По формуле рассчитывают содержание (г/л)

$$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O = \frac{v \cdot 0,11151k \cdot 1000}{m} + A \cdot 0,776,$$

где v — количество 0,5 н. HCl , израсходованной на титрование, мл; k — коэффициент нормальности 0,5 н. HCl ; 0,11151 — теоретический титр 0,5 н. HCl по $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$, г/мл; A — содержание $ZnSO_4$, г/л; 0,776 — коэффициент пересчета с сульфата цинка на пирофосфат натрия, связанный с цинком в виде пирофосфата цинка.

Борфторид. Электролит меднения. *Ход анализа.* К 5 мл раствора, полученного разбавлением 25 мл в 250 мл воды, в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 50 мл воды, 5—6 капель метилового оранжевого и титруют 0,1 н. $NaOH$ до желто-зеленой окраски раствора.

Содержание (г/л) определяют по формуле

$$HBF_4 = \frac{v \cdot 0,00878k \cdot 1000}{m} - A \cdot 0,740,$$

где v — количество 0,1 н. $NaOH$, израсходованного на титрование, мл; 0,00878 — теоретический титр 0,1 н. $NaOH$ по HBF_4 , г/мл; k — коэффициент нормальности 0,1 н. $NaOH$; A — содержание фторбората меди, г/л (см. с. 72); 0,740 — коэффициент пересчета с фторбората меди на борфтористоводородную кислоту.

Электролит свинцевания. *Необходимые реактивы.* $MgSO_4 \times 7H_2O$ — насыщенный раствор; $NaOH$ — 0,1 н. раствор; глицерин нейтрализованный; фенолфталеин; метиловый оранжевый.

Ход анализа. Отбирают 5 мл разбавленного в 10 раз электролита (0,5 мл исходного) в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 15 мл $MgSO_4$, 50 мл воды и кипятят 1 ч,

используя обратный воздушный холодильник. Раствор охлаждают и титруют едким натром по метиловому оранжевому до перехода окраски раствора из розовой в желтую. К оттитрованной пробе прибавляют 8—10 капель фенолфталеина, 10 мл глицерина и титруют едким натром до появления розовой окраски раствора. Прибавляют еще 10 мл глицерина и, если розовая окраска не исчезнет, титрование считают законченным.

Содержание (г/л) определяют по формуле

$$HBF_4 = \left(v \cdot k - \frac{D}{0,008147 \cdot 2000} \right) \times 0,002195 \cdot 2000,$$

где v — количество 0,1 н. $NaOH$, израсходованного на титрование пробы с метиловым оранжевым, мл; k — коэффициент нормальности 0,1 н. $NaOH$; D — содержание фторбората свинца, г/л (см. с. 77); 0,008147 — теоретический титр 0,1 н. $NaOH$ по $Pb(BF_4)_2$, г/мл; 2000 — коэффициент пересчета с 0,5 мл на 1 л; 0,002195 — теоретический титр 0,1 н. $NaOH$ по HBF_4 , г/мл.

Содержание (г/л) определяют по формуле

$$H_2BO_3 \text{ общ} = v_1 \cdot 0,006184k \cdot 2000,$$

где v_1 — количество 0,1 н. $NaOH$, израсходованного на титрование борной кислоты (с фенолфталеином), мл; 0,006184 — теоретический титр 0,1 н. $NaOH$ по H_2BO_3 , г/мл; остальные обозначения см. выше. Расчет содержания (г/л) проводят по формуле

$$H_2BO_3 \text{ своб} = H_2BO_3 \text{ общ} - (D \cdot 0,253 + E \cdot 0,7042),$$

где D — содержание фторбората свинца, г/л; 0,2530 — коэффициент пересчета с $Pb(BF_4)_2$ на H_2BO_3 ; E — содержание HBF_4 , г/л; 0,7042 — коэффициент пересчета с HBF_4 на H_2BO_3 .

Аммиак, сернистый и хлористый аммоний. Электролит меднения. *Необходимые реактивы.* HCl — 0,1 н. раствор; $NaOH$ — 0,1 н. раствор; формальдегид $HCHO$ — 40 %-ный раствор; фенолфталеин; метиловый оранжевый.

Ход анализа. Для определения аммиака 10 мл электролита разбавляют

в мерной колбе до 200 мл водой, отбирают аликвоту 10 мл (0,5 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 50 мл воды, несколько капель метилового оранжевого и титруют соляной кислотой. Содержание (г/л) определяют по формуле

$$\text{NH}_4\text{OH} = \frac{v \cdot 0,0035k \cdot 1000}{m}$$

где v — количество 0,1 н. HCl, израсходованной на титрование по метиловому оранжевому, мл; 0,0035 — теоретический титр 0,1 н. HCl по NH_4OH , г/мл; k — коэффициент нормальности 0,1 н. HCl.

Содержание (мл/л) рассчитывают по формуле

$$\text{NH}_4\text{OH} = \frac{A}{\gamma \cdot B}$$

где A — содержание NH_4OH , г/л; γ — плотность NH_4OH , г/см³; B — содержание NH_4OH , %, соответствующее данной плотности.

Для определения сульфата аммония в раствор (после определения аммиака) добавляют 20 мл формальдегида, предварительно нейтрализованного 0,1 н. NaOH по фенолфталеину, вводят 30 мл NaOH, 4–5 капель фенолфталеина и оттитровывают избыток щелочи соляной кислотой до обесцвечивания раствора.

Расчет содержания (г/л) выполняют по формуле

$$\begin{aligned} (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 &= \\ &= \frac{(v_1 - v_2) \cdot 0,0066k \cdot 1000}{m} \\ &= 1,1,885, \end{aligned}$$

где v_1 — количество 0,1 н. NaOH, введенного в раствор, мл; v_2 — количество 0,1 н. HCl, израсходованной на титрование избытка едкого натра по фенолфталеину, мл; C — соотношение концентраций 0,1 н. растворов NaOH и HCl (определяют титрованием 10 мл NaOH соляной кислотой по фенолфталеину); k — коэффициент нормальности 0,1 н. NaOH; 0,0066 — теоретический титр 0,1 н. NaOH по $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, г/мл; 1,885 — коэффициент пересчета NH_4OH на $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; A — содержание NH_4OH , г/л.

Электролит цинкования.
Необходимые реактивы. AgNO_3 —

0,1 н. раствор; K_2CrO_4 — 5 %-ный раствор.

Ход анализа. Разбавляют 5 мл электролита в мерной колбе водой до 100 мл и отбирают аликвоту 2 мл (0,1 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 250 мл. Добавляют 50 мл воды, 0,5 мл K_2CrO_4 и титруют нитратом серебра до появления бурой окраски осадка хромата серебра. Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$\text{NH}_4\text{Cl} = \frac{v \cdot 0,00535k \cdot 1000}{m}$$

где v — количество 0,1 н. AgNO_3 , израсходованного на титрование, мл; 0,00535 — теоретический титр 0,1 н. AgNO_3 по NH_4Cl , г/мл; k — коэффициент нормальности 0,1 н. AgNO_3 .

Борная кислота. Необходимые реактивы. NaOH — 0,1 н. раствор; NaOH — 20 %-ный раствор; NaOH, не содержащий CO_2 , — 10 %-ный раствор; HCl — 1 : 1; HCl — 1 : 2; фенолфталеин; глицерин нейтральный.

Ход анализа. Отбирают 5 мл электролита в мерную колбу вместимостью 200 мл, добавляют 100 мл воды, нагревают до кипения и добавляют горячей 20 %-ный NaOH до щелочной реакции по фенолфталеину. Если в электролите присутствуют соли аммония, раствор кипятят 25–30 мин. После охлаждения раствора с осадком разбавляют раствор до метки водой и фильтруют через сухой фильтр в сухую мерную колбу вместимостью 100 мл до метки. Фильтрат (100 мл) переносят в коническую колбу вместимостью 500 мл и нейтрализуют HCl (1 : 2) до кислой реакции по бумаге конго, добавляют 8 мл HCl (1 : 1) и кипятят 30 мин с обратным воздушным холодильником для удаления CO_2 . Раствор охлаждают и нейтрализуют 10 %-ным NaOH до появления розового окрашивания и затем HCl (1 : 1) до исчезновения розовой окраски. Добавляют 20 мл глицерина и титруют в присутствии фенолфталеина до устойчивого перехода окраски раствора из синей в малиновую или розовую.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$\text{H}_2\text{BO}_3 = \frac{v \cdot 0,006184k \cdot 1000}{m}$$

где v — количество раствора NaOH, пошедшее на титрование, мл; 0,006184 — теоретический титр 0,1 н. раствора NaOH по H_2BO_3 , г/мл; k — коэффициент нормальности.

Сульфат. Ход анализа. В колбу вместимостью 250 мл (при объеме окончаний анализа — 750 мл) отбирают 10 мл электролита, добавляют 150 мл воды и 10 мл HCl. Затем осторожно небольшими порциями при перемешивании прибавляют 10 мл H_2O_2 (цвет раствора меняется от коричневого до зеленого). Содержимое колбы нагревают при периодическом перемешивании до появления крупных пузырей, кипятят еще 5 мин, прибавляют 10 мл CH_3COOH , нагревают до кипения, затем небольшими порциями при перемешивании добавляют 20 мл горячего (80–90 °C) BaCl_2 и кипятят 10 мин. Осадок без выставления отфильтровывают на двойной фильтр синяя лента, промывают 5–6 раз горячей водой до исчезновения синеватой окраски на фильтре, сушат, прокаливают 40 мин при 700 °C, охлаждают и взвешивают.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$\text{SO}_4^{2-} = \frac{A \cdot 0,4115 \cdot 1000}{m}$$

где A — масса осадка сульфата бария после прокаливания, г; 0,4115 — коэффициент пересчета с BaSO_4 на сульфат-ион.

АНАЛИЗ РАСТВОРОВ ДЛЯ ОКСИДИРОВАНИЯ И ФОСФАТИРОВАНИЯ

Раствор щелочного оксидирования стали. Отбор проб для анализа. Наливают 100 мл раствора при рабочей температуре ванны (140 °C) в сухую взвешенную мерную колбу вместимостью 100 мл, охлаждают, взвешивают, переливают в мерную колбу вместимостью 500 мл, разбавляют до метки водой и фильтруют в сухую колбу через кашину из фильтра или гигроскопическую вату. Температуру отбора пробы указывают в свидетельстве на результаты анализа раствора.

Количество исходного раствора (г), взятого для анализа,

$$m = \frac{a \cdot b}{b}$$

где a — навеска исходного раствора, г; b — объем раствора, до которого производят разбавление, мл; v — количество разбавленного раствора, взятого для определения, мл.

Ход анализа. Для определения едкого натра отбирают 10 мл разбавленного отфильтрованного раствора (0,2 г) в мерную колбу вместимостью 100 мл и разбавляют водой до метки; 10 мл раствора переносят в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляя 50 мл воды, 2–3 капли фенолфталеина и титруют 0,1 н. HCl.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$\text{NaOH} = \frac{v \cdot 0,004k \cdot 1000}{m}$$

где v — количество 0,1 н. HCl, израсходованной на титрование пробы с фенолфталеином, мл; 0,004 — теоретический титр 0,1 н. HCl по NaOH, г/мл; m — количество раствора, взятого для анализа, г.

Раствор фосфатирования стали. Общую и свободную кислотность (число точек) выражают количеством миллилитров точно отмеренного 0,1 н. NaOH, израсходованного на титрование 10 мл исходного раствора. Числом точек при титровании с фенолфталеином определяют общую кислотность раствора с метиловым оранжевым — свободную кислотность (содержание кислоты, не вошедшее в соединение с металлом).

Необходимые реактивы. NaOH — 0,1 н. раствор; фенолфталеин; метиловый оранжевый.

Ход анализа. К 10 мл исходного раствора в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 40 мл воды, 3–4 капли метилового оранжевого и титруют едким натром до перехода розовой окраски в желтую; добавляют 4–5 капель фенолфталеина и титруют до появления исчезающей розовой окраски раствора. Общая кислотность равна произведению $v \cdot k$, свободная кислотность — $v_1 \cdot k$ (v — общее количество 0,1 н. NaOH, израсходованного на титрование с метиловым оранжевым

и фенолфталеином, мл; v_1 — количество 0,1 н. NaOH, израсходованного на титрование с метиловым оранжевым, мл; k — коэффициент нормальности раствора NaOH).

Растворы для оксидирования алюминиевых сплавов. Сернико-кислый раствор. *Необходимые реактивы.* NaOH — 0,5 н. раствор; метиловый оранжевый; 20 %-ный раствор KF.

Ход анализа. Разбавляют в мерной колбе 10 мл электролита водой до 250 мл. К аликвоте 25 мл (1 мл исходного электролита) в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 25 мл воды, 2—3 капли индикатора и титруют едким натром до перехода розовой окраски раствора в желтую. Перед титрованием вводят 20 мл раствора KF.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$H_2SO_4 = \frac{v \cdot 0,02452k \cdot 1000}{m},$$

где v — количество 0,5 н. NaOH, израсходованного на титрование, мл; k — коэффициент нормальности 0,5 н. NaOH; 0,02452 — теоретический титр 0,5 н. NaOH по H_2SO_4 , г/мл.

1. Потенциалы полуволн (В) некоторых металлов, измеренные при 20 °C методом быстрой полярографии по отношению к Ag/AgCl электроду

Ион металла	Фоновые растворы							
	$2M CH_3COOH + 2M CH_3COONH_4$	$1M NH_4Cl + 1M NH_4Cl$	1M KCl	1M NaF	1M HCl	1M NaOH	0,1M KNO ₃	0,3M триэтаноламина + 0,1M KOH
Sb ³⁺	—0,50; —0,38	—0,12	Нет волн	—0,71	—0,13 *	—0,38; —1,16	—0,11	—0,88
As ³⁺	—1,40; —1,00	—1,70	То же	—1,55	—0,45; —0,69	—0,24	—0,75	—0,3 **
Pb ²⁺	—0,47	Осадок	—0,40 *	—0,42	—0,17	—0,70 *	—0,36	—0,92
Cd ²⁺	—0,65	Осадок	—0,61 *	—0,57	—0,63 *	—0,55 *	—0,82	—0,82
Cu ²⁺	—1,38	Осадок	—1,15	—1,1	Нет волн	—1,6 **	—1,05	Нет волн
Cu ⁺	Нет волн	—0,27; —1,48; —1,0	—0,98; —0,45 **	—1,00	—0,30; —1,00	—0,91	—1,05; —1,37	—1,32
Fe ²⁺	—0,10; —1,07	Осадок	—1,40 **	—1,40 **	»	Осадок	Нет волн	—0,92; —0,97
Fe ³⁺	—0,10; —0,22; —1,07	»	Нет волн	Нет волн	»	»	»	—
Co ²⁺	Нет волн	—1,17	—1,50	—1,43	»	»	—1,30; 1,68	Нет волн

Хромовокислый раствор. Определение хромовой кислоты и окиси хрома производят согласно методике на с. 73,74.

ПОЛЯРОГРАФИЯ

Быстрое определение содержания ионов металла в электролитах и растворах проводят методом полярографии, сущность которого состоит в регистрации зависимости потенциал — плотность тока на ртутном капельном катоде. При этом величина потенциала полуволны $E_{1/2}$ определяет тип анализируемого иона, а величина диффузионной плотности тока — его концентрацию. Для записи полярограмм используют стандартные полярографы. Метод полярографии применяется для анализа электролитов и осадков электролитических сплавов.

Значения $E_{1/2}$ при определении содержания ионов различных металлов с использованием некоторых фоновых растворов приведены в табл. 1. Диффузионный ток связан с концентрацией определяемого иона зависимостью

$$i_d = 607zD^{1/2}Cm^{2/3}t^{1/6},$$

Продолжение табл. 1

Ион металла	Фоновые растворы							
	$2M CH_3COOH + 2M CH_3COONH_4$	$1M NH_4Cl + 1M NH_4Cl$	1M KCl	1M NaF	1M HCl	1M NaOH	0,1M KNO ₃	0,3M триэтаноламина + 0,1M KOH
Cu ²⁺	—0,05	—0,10; —0,45	—0,21	0,0	—0,23	—0,50; —0,32	0,0	—
Mo ⁴⁺	—0,68; —1,22; —1,56 —1,10	Нет волн	—1,72; —0,34 **; —0,58 **; —1,08	—1,31 **	—0,10	Нет волн	—0,60	Нет волн
Ni ²⁺	—0,5 **	Нет волн	—1,83 **	—1,30 **	—0,91	Осадок	—1,05	—1,35
Pd ²⁺	—0,71 *; —1,18	—1,60	Нет волн	—0,74	0	Нет волн	Нет волн	Нет волн
Se ⁴⁺	—0,20	Нет волн	—0,06 *	—1,40	—1,44 *; —2,09	То же	То же	То же
Bi ³⁺	—0,2 **; —0,8 **	То же	—1,16	—1,40	—0,37	—0,58	—1,25; 0,0; 0,15 *	—0,58
W ⁶⁺	—1,04; —0,13; —0,6	—1,30	—1,02 —0,47	—1,07 —1,00 **	То же	—1,51	Нет волн	Нет волн
Zn ²⁺	—0,13; —0,6	—	—0,47	Нет волн	—0,17	Осадок	—0,97	—1,57
Sn ²⁺	Нет волн	—	—0,47	Нет волн	—0,17	То же	Нет волн	Нет волн

* Четкая волна.
** Нечеткая волна.

где i_d — средний диффузионный ток (мкА) во время жизни капли; z — количество электронов, участвующих в превращении одного иона на электроде; D — коэффициент диффузии разряжающегося иона, см²/с; C — концентрация определяемого иона, ммоль/л; m — количество ртути, протекающее через данный капилляр в единицу времени, мл/с; t — период капания, с.

КОНТРОЛЬ КИСЛОТНОСТИ

Калориметрический метод. Метод основан на изменении окраски растворов индикаторов или смесей индикаторов в определенном интервале изменения pH (табл. 2 и 3).

Для ориентировочного определения pH применяют комбинированный индикатор следующего состава (г):

Фенолфталеин	0,1
Метиловый красный	0,2
Диметиловый желтый	0,3
Бромтимоловый синий	0,4
Тимоловый синий	0,5

Смесь индикаторов растворяют в 500 мл спирта и добавляют раствор NaOH до появления желтой окраски. Для определения pH к 10 мл исследуемого раствора прибавляют одну каплю комбинированного индикатора. В зависимости от величины pH раствор приобретает следующую окраску: при pH2 — красную, pH4 — оранжевую, pH6 — желтую, pH8 — зеленую, pH10 — синюю.

С помощью индикаторной бумаги величину pH можно определить с точностью до 0,5. Индикаторную бумагу готовят пропитыванием фильтровальной бумаги спиртовым раствором следующего состава (г):

фенолфталеин	1,3
бромтимоловый синий	0,9
метиловый красный	0,4
метиловый синий	0,2

Индикаторы растворяют в 1 л спирта и затем добавляют небольшое количество 0,1 н. NaOH до появления зеленой окраски раствора. После этого пропитанную индикатором бумагу вы-

2. Переходные интервалы pH индикаторов

Индикатор	Цвет раствора при увеличении pH в области		Переходный интервал pH
	кислой	щелочной	
Эозин	Желтый	Фиолетовый	0,0—3,0
Метиловый зеленый	»	Зеленый	0,1—2,0
Метилвиолет	»	Фиолетовый	0,1—3,2
Сафранин	Синий	Красный	0,3—1,0
Хингидриновый красный	Бесцветный	Желтый	1,0—2,0
Метиловый желтый	Красный	»	1,2—2,3
Тимоловый синий	»	»	1,2—2,8
Ализариновый желтый	»	»	1,9—3,3
Бензидилилпазобензол	Розовый	»	2,3—3,3
Коинг красный	Синий	Красный	3,0—4,0
Бромфеноловый синий	Желтый	Синий	3,0—4,6
Метиловый оранжевый	Красный	Желтый	3,1—4,4
Бромкрезоловый зеленый	Желтый	Синий	3,8—5,4
Метиловый красный	Красный	Желтый	4,2—6,3
n-Нитрофенол	Бесцветный	»	5,0—7,0
Бромкрезолпурпур	Желтый	Пурпурный	5,2—6,3
Лакмус	Красный	Синий	6,0—8,0
Нейтральный красный	»	Желтый	6,5—8,0
α-Нафтолфталеин	Розовый	Зеленый	7,3—8,7
Тропеолин 000	Желтый	Красный	7,6—8,9
Тимоловый синий	Бесцветный	Синий	8,0—9,6
Фенолфталеин	»	Красный	8,3—10,0
Тимолфталеин	Желтый	Синий	9,3—10,5
Ализариновый желтый	»	Красный	10,1—12,1
Тропеолин 0	»	Оранжево-коричневый	11,1—12,7
Бензопурпурин 4В	Оранжевый	Красный	13,0—14,0

3. Изменение окраски смешанных индикаторов

Смесь индикаторов	pH точки перехода	Цвет индикатора в области	
		кислой	щелочной
Метиловый желтый+метиловый синий	3,25	Сине-фиолетовый	Зеленый
Метиловый оранжевый+индиго кармин	4,1	Фиолетовый	Зеленый
Na-соль метилового красного+альфафурил	4,8	Пурпурный	Зеленый
Бромкрезоловый зеленый+метиловый красный	5,1	Красный	Зеленый
Метиловый красный+метиловый синий	5,4	Красно-фиолетовый	Зеленый
Na-соль бромкрезолового синего+Na-соль хлорфенолового красного	6,1	Желто-зеленый	Сине-фиолетовый
Na-соль бромкрезолового пурпурного+Na-соль бромтимолового синего	6,7	Желтый	Фиолетово-синий
Нейтральный красный+метиловый синий	7,0	Фиолетово-синий	Зеленый
Na-соль бромтимолового синего+Na-соль фенолового красного	7,5	Желтый	Фиолетовый
Na-соль фенолового красного+Na-соль креолового красного	8,3	Желтый	Фиолетовый
α-Нафтолфталеин+фенолфталеин	8,9	Розовый	Фиолетовый
Фенолфталеин+тимолфталеин	9,9	Бесцветный	Фиолетовый

Снижают на воздухе. В зависимости от величины pH индикаторная бумага принимает следующую окраску: при pH 1 — красную, pH 5 — оранжевую, pH 6 — желтую, pH 7 — зеленую, pH 8 — голубую, pH 9 — синюю, pH 10 — фиолетовую.

При большом содержании солей изменение pH, полученное колориметрическим методом, может заметно отличаться от действительного значения. В этом случае опытным путем при помощи буферных растворов устанавливают так называемую солевую ошибку. Некоторые индикаторы, например тимоловый синий и метиловый красный, не дают солевой ошибки.

Для определения pH используют также индикаторные бумаги в виде специально сброшюрованных книжек. Они бывают как универсальными (цветной шкалой pH от 1 до 10), так и предназначенными для контроля конкретно в определенном интервале значений pH.

Потенциометрический метод. Метод основан на измерении разности потенциалов между электродом сравнения и индикаторным электродом, потенциал которого зависит от концентрации водородных ионов.

Электроды сравнения обычно бывают каломельный, стандартный хингидронный или хлорсеребряный электроды. Потенциалы двух первых электродов при различных температурах приведены в табл. 4.

Потенциал хлорсеребряного электрода определяется температурой и активностью хлор-иона:

$$E_{\text{Ag/AgCl}} = 0,2224 - 0,0002T \lg a_{\text{Cl}^-}$$

Индикаторными электродами являются хингидронный, сурьмяно-окисный или стеклянный.

4. Потенциалы (В) каломельного и хингидронного электродов сравнения при различных температурах

при различных температурах									
Темпера- тура, °С	Электрод				Темпера- тура, °С	Электрод			
	каломельный			хингид- ронный		каломельный			хингид- ронный
	0,1 н.	1 н.	насы- щенный			0,1 н.	1 н.	насы- щенный	
15	0,3571	0,2852	0,2503	0,3916	21	0,3367	0,2818	0,2464	0,6962
16	0,3576	0,2856	0,2497	0,6925	22	0,3367	0,2818	0,2464	0,6970
17	0,3578	0,2847	0,2490	0,6933	23	0,3366	0,2818	0,2464	0,6977
18	0,3569	0,2845	0,2483	0,6940	24	0,3366	0,2818	0,2464	0,6985
19	0,3569	0,2842	0,2477	0,6948	25	0,3365	0,2818	0,2464	0,6992
20	0,3568	0,2840	0,2471	0,6955					

Хингидронный электрод представляет собой платиновую проволоку или пластинку, погруженную в испытуемый раствор, в который добавлена щепотка хингидрона. Хингидронный электрод используют для измерения pH в кислой и нейтральной областях (при pH < 8). Он неприменим в растворах сильных окислителей или восстановителей и в сильно концентрированных растворах. Для этого электрода

$$pH = \frac{(E_x^0 - E_k) - E}{0,0591 + 0,0002(t - 25)}$$

где t — температура, °C; E — величина измеренной ЭДС; E_x^0 — потенциал хингидронного электрода; E_k — каломельного электрода. Разность потенциалов $(E_x^0 - E_k)$ приведена в табл. 5.

Сурьмяно-окисный электрод представляет собой тонкую палочку сурьмы, покрытую трехокисью сурьмы Sb_2O_3 , погруженную в испытуемый раствор. Интервал измерения pH от 2 до 12. С помощью этого электрода pH определяют по формулам:

$$pH = \frac{E - E_c + 0,254 - 0,0013(t - 25)}{0,0636}$$

в интервале 5—12

$$pH = \frac{E - E_c + 0,254 - 0,0022(t - 25)}{0,0536}$$

где E — измеренная ЭДС, а E_c — потенциал электрода сравнения.

Стеклянный электрод представляет собой шарик из тонкого специального стекла, заключенный в стандартный рас-

твором, в который погружена серебряная проволока, имеющая на поверхности слой хлористого серебра.

При измерении pH стеклянный электрод погружают в исследуемый раствор. Калибровку стеклянного электрода проводят с помощью стандартных буферных растворов с известной

величиной pH табл. (6 и 7), в результате чего строят график в координатах ЭДС — pH.

Измерение разности потенциалов между электродом сравнения и индикаторным электродом проводят с помощью катодных вольтметров и специальных электронных pH-меров.

5. Разность потенциалов (В) между хингидронным и каломельными электродами ($E_{\text{Х}}^{\text{с}} - E_{\text{к}}$)

Температура, °С	Электрод каломельный			Температура, °С	Электрод каломельный		
	0,1 н.	1 н.	насыщенный		0,1 н.	1 н.	насыщенный
15	0,3517	0,4066	0,4415	21	0,3595	0,4124	0,4498
16	0,3555	0,4075	0,4428	22	0,3603	0,4135	0,4512
17	0,3563	0,4086	0,4443	23	0,3611	0,4144	0,4526
18	0,3571	0,4095	0,4457	24	0,3619	0,4155	0,4540
19	0,3579	0,4106	0,4471	25	0,3627	0,4164	0,4554
20	0,3587	0,4115	0,4484				

6. Состав буферных растворов (мл) с pH 1,04—6,98 при 18 °С

pH	Глицин	HCl	Цитрат	NaOH	KH_2PO_4	Na_2HPO_4
1,04	—	10,0	—	—	—	—
1,15	1,0	9,0	—	—	—	—
1,25	2,0	8,0	—	—	—	—
1,42	3,0	7,0	—	—	—	—
1,65	4,0	6,0	—	—	—	—
1,93	5,0	5,0	—	—	—	—
2,28	6,0	4,0	—	—	—	—
2,61	7,0	3,0	—	—	—	—
2,92	8,0	2,0	—	—	—	—
3,34	9,0	1,0	—	—	—	—
3,53	—	5,25	—	—	—	—
3,68	9,5	0,5	4,75	—	—	—
3,69	—	5,0	—	—	—	—
3,95	—	4,5	—	—	—	—
4,16	—	4,0	—	—	—	—
4,45	—	3,0	—	—	—	—
4,65	—	2,0	—	—	—	—
4,83	—	1,0	—	—	—	—
4,89	—	0,5	—	—	—	—
4,96	—	—	—	—	—	—
5,02	—	—	10,0	—	—	—
5,11	—	—	9,5	0,5	—	—
5,31	—	—	9,0	1,0	—	—
5,57	—	—	8,0	2,0	—	—
5,91	—	—	7,0	3,0	—	—
5,97	—	—	6,0	4,0	9,0	1,0
6,24	—	—	—	—	—	—
6,47	—	—	—	—	8,0	2,0
6,64	—	—	—	—	7,0	3,0
6,81	—	—	—	—	6,0	4,0
6,98	—	—	—	—	5,0	5,0
					4,0	6,0

Примечания. 1. Исходные растворы: 0,1 М HCl; 0,1 М глицин (7,505 г глицина + 5,85 г NaCl на 1 л); 0,1 М цитрат натрия (21,008 г моногидрата лимонной кислоты + 200 мл 1 н. NaOH на 1 л); 0,1 н. NaOH; 1/15 М (9,078 г KH_2PO_4 на 1 л); 1/15 М (11,876 г Na_2HPO_4 на 1 л); 0,2 М борат (12,404 г H_2BO_3 + 100 мл 1 н. NaOH на 1 л.)

2. Буферный раствор нужного pH можно получить смешиванием двух исходных растворов. В некоторых случаях буферные растворы известного pH готовятся из одного раствора.

7. Состав буферных растворов (мл) с pH 7,17—12,97 при 18 °С

pH	Глицин	HCl	NaOH	KH_2PO_4	Na_2HPO_4	Борат
7,17	—	—	—	3,0	7,0	—
7,38	—	—	—	2,0	8,0	—
7,62	—	4,75	—	1,0	9,0	5,25
7,73	—	—	—	—	—	—
7,94	—	4,5	—	—	9,5	5,05
8,04	—	—	—	0,5	—	—
8,14	—	4,25	—	—	—	5,75
8,24	9,75	—	0,25	—	—	—
8,29	—	4,0	—	—	—	6,0
8,51	—	3,5	—	—	—	6,5
8,58	9,5	—	0,5	—	—	—
8,68	—	3,0	—	—	—	7,0
8,80	—	2,5	—	—	—	7,5
8,91	—	2,0	—	—	—	8,0
8,93	9,0	—	1,0	—	—	—
9,01	—	1,5	—	—	—	8,5
9,09	—	1,0	—	—	—	9,0
9,17	—	0,5	—	—	—	9,5
9,24	—	—	—	—	—	10,0
9,36	—	—	—	—	—	9,0
9,68	—	—	—	—	—	—
9,71	7,0	—	—	—	—	6,0
9,97	—	—	—	—	—	—
10,14	6,0	—	—	—	—	—
10,48	5,5	—	—	—	—	—
11,07	5,1	—	—	—	—	—
11,31	5,0	—	—	—	—	—
11,57	4,9	—	—	—	—	—
12,10	4,5	—	—	—	—	—
12,40	4,0	—	—	—	—	—
12,67	3,0	—	—	—	—	—
12,86	2,0	—	—	—	—	—
12,97	1,0	—	—	—	—	—

Примечание. См. примечания к табл. 6.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ

Химические методы. Капельный метод заключается в том, что покрытие растворяют последовательно наносимыми и выдерживаемыми в течение определенного промежутка времени каплями раствора (при этом используют капельницу с внутренним диаметром капилляра 1,5—2,0 мм). Операцию повторяют до тех пор, пока на месте снятых фильтровальной бумагой каплей не обнажится сплошной участок основного металла.

Капельный метод пригоден для измерения толщины покрытия на сложных профилированных и мелких деталях, так как капля раствора не может удержаться требуемое время на испытуемом участке и растекается. Точность метода для покрытия толщиной 2 мкм и более колеблется в пределах $\pm 30\%$.

Испытание проводят следующим образом. Участок поверхности детали, на котором определяют толщину покрытия, предварительно тщательно обезжиривают бензойной кислотой, окисью магния или органическими растворителями, промывают водой и сушат фильтровальной бумагой.

Детали с верхним никелевым слоем для снятия пассивной пленки после обезжиривания прожигают ватным тампоном, смоченным раствором HCl (1 : 1), промывают водой и просушивают.

Если верхний слой контролируемого образца — хром, то его растворяют в HCl (1 : 1), причем для ускорения начала растворения рекомендуют коснуться хромированной поверхности цинковой палочкой, затем образец промывают водой и высушить. Для снятия пассивной или фокитной пленки пассивированные (хромированные), оцинкованные и кадмированные или

9. Толщина слоя различных покрытий (мкм) *, растворяемых одной каплей

Температура раствора, °C	Цинковое (60)	Медное (60)	Никелевое (30)	Хромовое (60)	Латунное (30)	Серебряное (30)	Сплав	
							ПОС-40 (30)	ПОС-50 (30)
12	0,87	0,83	0,55	—	—	—	0,68	0,53
13	0,91	0,85	0,57	—	—	—	0,70	0,54
14	0,96	0,87	0,59	—	—	—	0,72	0,55
15	1,01	0,89	0,61	—	1,17	—	0,73	0,56
16	1,05	0,93	0,63	—	1,19	—	0,75	0,57
17	1,09	0,97	0,65	—	1,20	—	0,77	0,57
18	1,14	1,01	0,67	1,08	1,22	2,70	0,79	0,58
19	1,18	1,05	0,69	1,14	1,23	2,78	0,81	0,58
20	1,24	1,08	0,70	1,20	1,25	2,85	0,83	0,59
21	1,27	1,11	0,71	1,26	1,26	2,90	0,84	0,60
22	1,32	1,14	0,72	1,32	1,27	2,95	0,86	0,60
23	1,36	1,16	0,73	1,38	1,28	3,00	0,88	0,61
24	1,40	1,18	0,74	1,44	1,29	3,05	0,90	0,62
25	1,45	1,20	0,75	1,50	1,30	3,10	0,92	0,63
26	1,52	1,21	—	1,56	1,30	3,14	0,94	0,63
27	1,59	1,23	—	1,62	1,30	3,18	0,96	0,64
28	1,66	1,24	—	1,74	1,30	3,22	0,97	0,65
29	1,73	1,25	—	1,86	1,30	3,26	0,99	0,65
30	1,80	1,26	—	1,98	1,30	3,30	1,03	0,66

Примечания. 1. Толщина слоя кадмиевого покрытия, снимаемого за 30 с при температуре 12—30 °C, равна 1,2 мкм, оловянного — 0,55 мкм.

2. При толщине никелевого покрытия менее 3 мкм одна капля при температуре 18 °C снимает за 15 с слой толщиной 0,3 мкм.

3. Толщина снимаемого слоя покрытий дана для никелевых покрытий, полученных из сернистых электролитов; медных — из сернистых и цианистых; цинковых — из аммиакатных и цианистых; серебряных — из цианистых и роданистосинеродистых; сплавов олово-винце — из борфтористоводородных.

* В скобках дано время выдержки, с.

10. Растворы для определения толщины покрытий струйным методом

Покрытие	Основной металл или металл подслоя	Компоненты раствора	Концентрация компонента, г/л	Признак окончания измерения
Цинковое	Сталь	NH_4NO_3 CuSO_4 H_2SO_4 (ин.)	70 7 70 мл/л	Розовое пятно
Кадмиевое	Сталь, медь и ее сплавы	NH_4NO_3 HCl	17,5 17,5	Основной металл
Медное	Сталь Цинковый сплав Никель	FeCl_3 CuSO_4	300 100	Розовое пятно Черное пятно Белое пятно
Никелевое	Сталь			Розовое пятно
	Медь и ее сплавы			Розовое или желтое пятно

Продолжение табл. 10

Покрытие	Основной металл или металл подслоя	Компоненты раствора	Концентрация компонента, г/л	Признак окончания измерения
Хромовое	Никель	HCl	220 мл/л	Белое пятно
	Сталь	H_2SO_4 FeCl_3 CuSO_4 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	100 мл/л 60 30 100 мл/л	Розовое пятно
Серебряное	Медь и ее сплавы, никель	KJ J_2	250 7,5	Основной металл
Медное, сплав медь-цинк (латунь)	Сталь	FeCl_3 HCl CH_3COOH SbCl_3	150 150 мл/л 250 мл/л 31	Черное пятно
Свинцовое	Сталь	Кислота метанитро-бензойная KNO_3 NaOH	36 72 53	Блестящее пятно Красное пятно Желтое пятно
	Медь Латунь			
Оловянное	Сталь, медь и ее сплавы	FeCl_3 CuSO_4 HCl	15 30 60 мл/л	Нестираемое розовое пятно
Сплав олово-свинец	Медь и ее сплавы	HBF_4	112	Основной металл

Примечания. 1. При определении толщины хромового покрытия перед началом измерения для разрушения пассивного слоя следует коснуться поверхности детали цинковой палочкой, смоченной в применяемом растворе.

2. При затруднениях в определении конца растворения медных покрытий на стали после появления блестящего розового пятна контактно выделяющейся меди или незадолго до конца растворения (до появления темного пятна) на испытуемый участок в соляной кислоте вносят из пипетки каплю 1,5 %-ного раствора треххлористой сурьмы, в соляной кислоте (1:1). Признаком окончания растворения покрытия является появление темного пятна через 2—3 с после внесения раствора. До нанесения капли раствора и перед продолжением испытания струей испытуемый участок протирают фильтровальной бумагой.

3. Пленку йодистого серебра, образующуюся при растворении серебряного покрытия, снимают раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (360 г/л). После удаления капли раствора для испытания пожелтевшую поверхность протирают латунным тампоном, смоченным раствором тиосульфата натрия, а затем фильтровальной бумагой.

4. При определении толщины покрытия для сплава олово-свинец через покрытие пропускают ток 10 мА.

5. На химические никелевые покрытия струйный метод не распространяется.

положении на расстоянии 250 ± 5 мм от конца капиллярной трубки 7. В трубку 3 вставлен термометр 1.

Прибор готовят для измерения следующим образом: воронку 4 на три четверти наполняют приготовленным раствором, открывают кран 5 воронки и заполняют капиллярную трубку 7. Закрывают кран 5. Горлышко воронки закрывают резиновой пробкой 2. Открывают вновь кран 5 и дают возможность раствору вытекать из воронки до тех пор, пока не начнется равномерное засасывание пузырьков воздуха в воронку через трубку 3, что указывает на установившееся в ней постоянное давление. Для удаления пузырьков воздуха из резиновой соединительной и капиллярной трубок сжимают соединительную трубку 6 при открытом кране 5. Перед началом работы проверяют скорость истечения раствора из капиллярной трубки.

Подготовленный описанным образом прибор укрепляют на штативе так, чтобы конец капиллярной трубки был расположен на расстоянии 4—5 мм от испытуемой поверхности и угол между осью капилляра и поверхностью детали (или в случае криволинейной поверхности, касательной к ней) составлял $45 \pm 5^\circ$.

Перед началом определения измеряют температуру раствора; в момент открывания крана 5 включают секундомер; через некоторое время кран закрывают; останавливают секундомер и смотрят, не изменилась ли окраска поверхности в месте падения струи. Если окраска не изменилась, то снова открывают кран и включают секундомер. Так поступают до тех пор, пока в месте падения струи не появится признак окончания измерения. Растворы, применяемые для измерений, и признаки окончания измерения указаны в табл. 10.

При последующих измерениях, когда известно примерно число секунд, в течение которых растворяется данное покрытие, перерывы в измерениях делают возможно реже. Число секунд, в течение которых кран 5 открыт, суммируют.

При измерении толщины многослойных покрытий отдельно отмечают время, затраченное на растворение каждого слоя покрытия, и подсчитывают толщину, как указано ниже.

Толщина покрытия, мкм: $\delta = \delta_t \cdot t$, где δ_t — толщина покрытия, снимаемого за 1 с, мкм; t — время, затраченное на растворение покрытия, с.

Значения δ_t для различных покрытий приведены в табл. 11.

При расчете толщины в формулу вводят поправочные коэффициенты в виде множителя, равного 1,35 для медных покрытий из цианистых электролитов; 0,7 для кадмиевых из сернокислых электролитов; 1,09 для хромовых блестящих из стандартного электролита; 1,2 для хромовых блестящих из саморегулирующихся электролитов; 1,04 для хромовых матовых из саморегулирующихся электролитов и 1,3 для хромовых матовых из тетрахроматных электролитов.

При расчете толщины никелевых покрытий из электролитов с блескообразующими добавками в формулу вводят коэффициенты, указанные в табл. 12.

Струйно-объемный метод. Он заключается в определении объема раствора, израсходованного на растворение покрытия под действием струи, которая вытекает из бюретки с определенной скоростью ($10 \pm 0,5$ мл в течение 30 с) и падает на поверхность детали под углом 45° .

Установка для измерения состоит из бюретки объемом 50 мл (цена деления 0,1 мл) со стеклянным крапом, к которому резиновой трубкой присоединяют капиллярную трубку. Капиллярную трубку калибруют таким образом, чтобы при полном открывании крана за 30 с при температуре $18-20^\circ\text{C}$ из бюретки вытекало $10 \pm 0,1$ мл дистиллированной воды.

При измерении фиксируют температуру раствора и открывают полностью кран бюретки. Через некоторое время кран закрывают и смотрят, не изменилась ли окраска поверхности в месте падения струи. Если окраска не изменилась, то снова открывают кран, и так поступают до тех пор, пока окраска поверхности в месте падения струи не изменится.

Для измерений используют растворы, приведенные в табл. 10; об окончании измерений судят по указанным в таблице признакам.

При измерении толщины многослойных покрытий отдельно фиксируют объем раствора, затраченного на рас-

11. Толщина слоя (мкм) различных покрытий, растворяемых за 1 с

Температура, $^\circ\text{C}$	Цинковое	Кадмиевое	Медное	Медно-цинковое*	Никелевое	Хромовое	Серебряное	Медно-цинковое	Свинцовое	Оловянное
10	0,493	0,180	—	—	—	—	—	—	—	—
11	0,500	0,185	—	—	—	—	—	—	—	—
12	0,515	0,190	0,535	0,443	0,236	—	—	0,443	—	—
13	0,530	0,195	0,568	0,470	0,262	—	—	0,470	—	0,909
14	0,542	0,201	0,602	0,498	0,294	—	0,320	0,498	—	0,930
15	0,560	0,207	0,641	0,526	0,333	0,094	0,340	0,526	—	0,952
16	0,571	0,211	0,685	0,560	0,376	0,101	0,355	0,560	—	0,976
17	0,589	0,217	0,735	0,594	0,424	0,109	0,367	0,594	—	1,100
18	0,610	0,223	0,794	0,629	0,467	0,120	0,380	0,629	—	1,026
19	0,630	0,229	0,862	0,664	0,493	0,131	0,390	0,664	0,907	1,033
20	0,645	0,235	0,926	0,699	0,521	0,139	0,403	0,699	0,980	1,081
21	0,670	0,241	0,980	0,734	0,546	0,147	0,413	0,734	1,020	1,111
22	0,690	0,247	1,042	0,768	0,575	0,156	0,420	0,768	1,058	1,143
23	0,715	0,253	1,099	0,802	0,606	0,164	0,431	0,802	1,087	1,176
24	0,740	0,260	1,163	0,836	0,641	0,169	0,439	0,836	1,124	1,212
25	0,762	0,265	1,220	0,870	0,671	0,174	0,450	0,870	1,149	1,250
26	0,775	0,272	1,268	—	0,709	—	—	—	1,176	1,290
27	0,790	0,279	1,333	—	0,741	—	—	—	1,205	1,333
28	0,808	0,286	1,389	—	0,769	—	—	—	1,220	—
29	0,824	0,294	1,429	—	0,800	—	—	—	—	—
30	0,833	0,302	1,471	—	0,833	—	—	—	—	—

Примечание. Значения толщины даны для никелевых покрытий, полученных из сернокислых электролитов; медных — из сернокислых и сернокислых с подслоем меди, полученных из цианистых электролитов; кадмиевых — из цианистых электролитов; цинковых — из цианистых, сернокислых, аммиачных и цинковых электролитов.

* Раствор, содержащий треххлористую сурьму.

12. Поправочные коэффициенты для блестящих никелевых покрытий при определении толщины струйно-периодическим методом

Время, с	Поправочный коэффициент для покрытий из электролитов с добавками			
	1,4-бутидиола	кумарина и л-толуолсульфамида	натриевой соли 2,6-2,7-нафталиндисульфокислоты и формалина	натриевой соли 2,6-2,7-нафталиндисульфокислоты
0—20	1,2	1,6	1,3	1,5
20—40	1,1	1,4	1,0	1,4
40—80	1,0	1,3	0,9	1,3
80—100	0,9	1,2	0,8	—

творение каждого слоя покрытия; полученные значения суммируют и подсчитывают толщину (мкм) по формуле

$$\delta = \delta_p V,$$

где δ_p — толщина покрытия, растворимого 1 мл раствора, мкм (табл. 13); V — объем раствора, затраченного на определение толщины, мл.

При расчете толщины в формулу вводят поправочные коэффициенты в виде множителя, равного 0,7 для кадмиевых покрытий из сернокислых электролитов, 1,35 для медных покрытий из цинковых электролитов; при расчете толщины никелевых покрытий, полученных из электролитов с блескообразующими добавками, в формулу расчета вводят коэффициенты, указанные в табл. 14, во всех остальных случаях множитель равен 1.

Погрешность измерения при струйно-объемном методе при толщинах покрытия более 2 мкм (цинк, кадмий и никель — до 30 мкм, медь до 50 мкм) колеблется в пределах $\pm 15\%$.

Кулонометрический метод. Основан на анодном растворении покрытий под действием стабилизированного тока. О конце растворения покрытия судят по скачку потенциала, наблюдающегося при обнажении основного металла или металла подслоя. Интервал измеряемых толщин 0,1—100 мкм, относительная погрешность $\pm 10\%$.

Физические методы. Метод прямого измерения заключается в определении размеров детали до и после нанесения покрытия. Для измерений используют микрометр или оптиметр. Микрометр позволяет измерять только значительные толщины покрытий, так как погрешность измерений достигает ± 10 мкм.

Метод измерения массы заключается во взвешивании детали до и после покрытия. Этот метод применим только для мелких деталей, которые можно взвесить и измерить с достаточной степенью точности.

Толщину покрытия (мкм) можно рассчитать по следующей формуле:

$$\delta_{ер} = \frac{p}{Sp10},$$

где p — масса покрытия, г; S — площадь поверхности, dm^2 ; ρ — плотность, g/cm^3 .

Увеличение массы на 1 г металла и на 1 dm^2 поверхности соответствует следующей толщине покрытия (мкм):

цинк	14,3	хром	15,4
кадмий	11,6	олово	13,7
медь	11,2	серебро	9,5
никель	11,5	золото	6,1

Зависимость массы осадков от толщины покрытия и плотности металла дана в табл. 15.

Магнитный метод. Отрывной магнитный метод основан на измерении силы отрыва магнита от поверхности испытуемой детали. Приборы, принцип работы которых основан на магнитном методе измерения толщины покрытий, делятся на приборы с постоянными магнитами, силу отрыва от детали (или притяжения) которых измеряют при помощи пружинных динамометров, и приборы с электромагнитами, силу отрыва от детали которых измеряют по изменению силы тока намагничивания.

Отрывной магнитный метод рекомендуется применять для измерения немагнитных покрытий на ферромагнитной основе или в случае резкого различия магнитных свойств покрытия и основы.

Измеренная сила притяжения магнита является функцией толщины покрытия. При ферромагнитных покрытиях (никель или железо) на немагнитном основном металле сила притяжения магнита возрастает с увеличением толщины покрытия, при немагнитных или никелевых покрытиях по стали сила притяжения магнита уменьшается с увеличением толщины покрытия.

Толщину покрытия на испытуемых деталях определяют с помощью приборов различных типов, в частности таких как ИТЛ-5, ИТП-200, ЭТ-4, ИТП-1, ИТП-1А.

Толщинометры, принцип работы которых основан на магнитном отрывном методе, просты по конструкции и портативны. Имеются также приборы карандашного типа. Предел измерения этими приборами 0—50 мкм. Наибольшая погрешность измерения достигает $\pm 10\%$; продолжительность измерения 5—6 с.

В условиях крупносерийного и массового производства, когда покрытие подвергают односторонние детали с аналогичными свойствами и технологической обработкой, приборы, принцип

13. Толщина слоя покрытия, растворимого 1 мл раствора, при определении струйно-объемным методом

Температура, °C	Покрытие						словянское
	цинковое	кадмиевое	медное	медное *	никелевое	латунное	
10	—	—	—	—	—	1,587	—
11	—	—	—	—	—	1,682	—
12	1,465	0,886	2,268	1,777	1,995	1,777	2,778
13	1,501	0,900	2,370	1,872	1,091	1,972	2,825
14	1,540	0,914	2,481	1,967	1,211	1,967	2,882
15	1,597	0,929	2,604	2,062	1,355	2,062	2,941
16	1,610	0,943	2,747	2,173	1,510	2,173	2,994
17	1,645	0,957	2,915	2,284	1,681	2,284	3,058
18	1,688	0,971	3,115	2,396	1,832	2,396	3,125
19	1,740	0,986	3,344	2,507	1,908	2,507	3,185
20	1,776	1,000	3,546	2,618	1,996	2,618	3,257
21	1,845	1,014	3,717	2,726	2,070	2,726	3,333
22	1,895	1,029	3,906	2,834	2,151	2,834	3,401
23	1,945	1,043	4,065	2,941	2,242	2,941	3,484
24	1,990	1,057	4,255	3,048	2,347	3,048	3,571
25	2,033	1,071	4,425	3,155	2,433	3,155	3,650
26	2,080	1,086	—	—	2,520	—	—
27	2,126	1,100	—	—	2,620	—	—
28	2,173	1,114	—	—	2,720	—	—
29	2,219	1,129	—	—	2,820	—	—
30	2,266	1,143	—	—	2,920	—	—

Примечание. Значения толщин даны для никелевых покрытий, полученных из сернокислых электролитов, медных — из сернокислых, кадмиевых — из цинковых, цинковых — из цинковых, сернокислых, аммиачных и цинковых электролитов.

* Раствор содержит треххлористую сурьму.

14. Поправочные коэффициенты для блестящих никелевых покрытий при определении толщины струйно-объемным методом

Объем раствора, мл	Поправочный коэффициент для покрытий из электролита с добавками			
	1,4-бутидиол	кукурина и п-толуолсульфамида	натриевой соли 2,6-2,7-нафталиндисульфокислоты и формалина	натриевой соли 2,6-2,7-нафталиндисульфокислоты
0—6,7	1,2	1,6	1,3	1,5
6,7—13,4	1,1	1,4	1,0	1,4
13,4—26,8	1,0	1,3	0,9	1,3
26,8—33,3	0,9	1,2	0,8	—

15. Зависимость массы осадков * от толщины покрытия и плотности металла ρ

ρ , г/см ³	Масса осадка, мг/см ² , при толщине покрытия, мкм													
	0,2	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30	40
1	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2	3	4
2	0,24	0,10	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	3,0	4	6	8
3	0,06	0,15	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,4	3,0	4,5	6	9	12
4	0,08	0,20	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	6,0	8	12	16
5	0,10	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	7,5	10	15	20
6	0,12	0,30	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	9,0	12	18	24
7	0,14	0,35	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	5,6	7,0	10,5	14	21	28
8	0,16	0,40	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,0	12,0	16	24	32
9	0,18	0,45	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	7,2	9,0	13,5	18	27	36
10	0,20	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	15,0	20	30	40
11	0,22	0,55	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5	6,6	8,8	11,0	16,5	22	33	44
12	0,24	0,60	1,2	2,4	3,6	4,8	6,0	7,2	9,6	12,0	18,0	24	36	48
13	0,26	0,65	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	10,4	13,0	19,5	26	39	52
14	0,28	0,70	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	11,2	14,0	21,0	28	42	56
15	0,30	0,75	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	12,0	15,0	22,5	30	45	60
16	0,32	0,80	1,6	3,2	4,8	6,4	8,0	9,6	12,8	16,0	24,0	32	48	64
17	0,34	0,85	1,7	3,4	5,1	6,8	8,5	10,2	13,6	17,0	25,5	34	51	68
18	0,36	0,90	1,8	3,6	5,4	7,2	9,0	10,8	14,4	18,0	27,0	36	54	72
19	0,38	0,95	1,9	3,8	5,7	7,6	9,5	11,4	15,2	19,0	28,5	38	57	76
20	0,40	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	30,0	40	60	80

* Масса, отнесенная к единице поверхности покрытия.

работы которых основан на магнитном отрывном методе, вследствие их сравнительно компактности можно рекомендовать для контроля покрытий непосредственно в цеховых бюро.

Индукционным магнитным методом измеряют магнитный поток, проходящий в сердечнике электромагнита. Магнитный поток, как и сила притяжения магнита, является функцией толщины покрытия. При контроле толщины немагнитного покрытия на крупных стальных деталях с различными магнитными свойствами целесообразно применять приборы, принцип работы которых основан на измерении магнитного потока в цепи.

К числу ценным отнесется прибор ТПО, при помощи которого можно вести автоматизированный контроль толщины покрытий на мелких деталях в условиях массового производства. Прибор ТПО предназначен для измерения толщины немагнитных и слабомагнитных (никелевых) покрытий на деталях из ферромагнитных материалов.

Приборы этого типа: МНП-10, НТ-10Н, МТ-30Н, МТ-31Н, МТ-40НУ, а также толщиномер по стали ТСО-1. Эти приборы имеют датчики переносного типа, позволяющие измерять толщину

покрытия на сложных по форме деталях, даже на труднодоступных участках и в отверстиях. Влияние магнитных свойств, формы и размеров деталей на показания приборов компенсируют установкой нуля прибора по детали без покрытия.

Метод вихревых токов сводится к следующему. Если деталь из металла поместить в переменное электромагнитное поле, создаваемое катушкой индуктивности, то в поверхностном слое детали появляются вихревые токи, поле которых, взаимодействуя с полем катушки, приводит к изменению ее полного сопротивления. Величина этого изменения зависит от размеров, конфигурации, качества поверхности детали и электрофизических свойств материалов покрытия и детали, а также от конструктивного исполнения прибора. Измеряя полное сопротивление катушки датчика с помощью специальных измерительных и усилительных схем, можно контролировать параметры детали, в частности, толщину покрытия.

Приборами, принцип работы которых основан на методе вихревых токов, целесообразно контролировать толщину немагнитных металлических, слабомагнитных (никелевых) и неметаллических покрытий, нанесенных на ферромагнитные металлы (дизельные).

Радиаактивный метод основан на обратном рассеянии (отражении) β -излучения. Мерой интенсивности отраженного (рассеянного) излучения служит сила тока, возникающего в ионизационной камере.

Для использования отраженного излучения необходимо, чтобы толщина детали была больше толщины излучения: толщина покрытия — меньше толщины насыщения, атомный номер металла покрытия должен отличаться от атомного номера металла основы не менее чем на 2.

Отечественной промышленностью выпускается изотопный β -микрометр для измерения толщины покрытий драгоценными металлами. Имеются также импортные приборы («Бетаметр», «Бетаскоп»). Пределы измерения приборами, выпускаемыми отечественной промышленностью, 0—100 мкм.

Преимущества радиационного метода следующие: возможность контроля покрытия без контакта с поверхностью детали, длительный срок службы датчика, возможность автоматизации процесса контроля.

Универсальный радиационный толщиномер покрытий на изделиях ТПРУ-1 обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогичными приборами: имеет стационарные и переносные датчики, меньшую погрешность измерения, большее быстродействие и др. Кроме измерения толщины покрытий, он может быть использован для определения процентного состава двухкомпонентных покрытий.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ

Прочность сцепления. Качественные методы. Они в основном связаны со значительной деформацией образцов или деталей. Поэтому эти способы применяются для выборочного контроля прочности сцепления покрытия с основой.

Метод полирования. Поверхность покрытия полируют не менее 15 с. Для полирования применяют круги из бумаги и других материалов, пасты — кро-

кусную, хромовую и др. Скорость полирования 20—30 м/с. После полирования на контролируемой поверхности не должно наблюдаться вздутий или отслаивания покрытия.

Метод наезки (для определения прочности сцепления покрытий на проволоке) Проволоку диаметром до 1 мм наводят на стержень, диаметр которого равен внутреннему диаметру проволоки; проволоку диаметром более 1 мм — на проволоку того же диаметра таким образом, чтобы образовалось 10—15 плотно прилегающих один к другому витков. Пружина диаметром проволоки до 1 мм контролирует выпрямлением, диаметром более 1 мм — растягиванием пружины на двойную длину. После контроля на поверхности покрытия не должно наблюдаться отслаивания покрытия.

Метод нанесения сетки царапин. На поверхность контролируемого покрытия стальным острым наносят четыре—шесть параллельных линий глубиной до основного металла, на расстоянии 2,0—3,0 мм одна от другой, и четыре—шесть параллельных линий, перпендикулярных первым. На контролируемой поверхности покрытия не должно наблюдаться отслаивания покрытия.

Метод изгиба. Детали с покрытием подвергают изгибу под углом 90° в обе стороны до излома. В месте излома покрытие не должно отслаиваться.

Метод вдавливания. При проверке пригодности листового материала к глубокой деформации (штамповка) применяют пресс Эрксена. Результаты испытаний считают хорошими, если трещины появляются при одинаковой глубине вдавливания на образцах с покрытием и без него, причем при образовании трещин на образце с покрытием не обнаруживается отслаивания покрытия от основы.

Метод удара. Для оценки сцепления используют боек, падающий с определенной высоты. Прочность сцепления тем выше, чем больше ударов бойка выдерживает испытуемый участок поверхности отслаивания.

Метод нагрева. Детали с покрытием нагревают в течение 0,5—1,0 ч и охлаждают на воздухе. Ниже приведенная температура нагрева ($\pm 5^\circ\text{C}$) деталей из различных материалов с необходи-

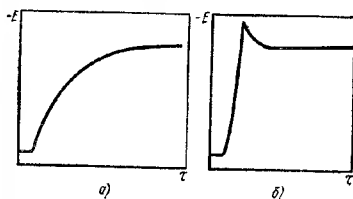


Рис. 2. Изменение потенциала катода (E) во времени (t) после включения поляризующего тока:
а — хорошее сцепление покрытия; б — плохое сцепление покрытия

мыми покрытиями, за исключением цинковых, кадмиевых, оловянных, свинцовых, а также сплавов олово—свинец:

алюминий и его сплавы	190
магний и его сплавы	125
медь и ее сплавы	250
сталь и чугуны	350
титан и его сплавы	210
цинк и его сплавы	140

Допускается понижение температуры нагрева для деталей, имеющих швы, ланниных припои с температурой плавления ниже указанной.

Для цинковых и кадмиевых покрытий температура нагрева должна быть 180—200 °С; для оловянных, свинцовых и покрытий сплавом олово—свинец 140—160 °С. После нагрева на контролируемой детали не должно наблюдаться вздутия или отслаивания покрытия.

Электрохимический метод. Для изучения прочности сцепления покрытий можно использовать электрохимический метод А. Т. Вагряна. Сущность метода заключается в том, что по значению величины поляризации в момент включения тока определяется активная часть поверхности катода, на которой происходит осаждение металла, что и характеризует степень сцепления электролитического покрытия. Образец в качестве катода помещают в электролит, из которого происходит осаждение металла покрытия, и определяют изменение поляризации в первый период после включения тока.

Если в момент включения тока поляризация имеет повышенное значение, уменьшающееся в процессе электролиза, то это указывает на малую долю

активной поверхности и, следовательно, на плохую сцепляемость. Если же поляризация растет после включения тока, то это свидетельствует об активной поверхности и о хорошем сцеплении покрытия с основой (рис. 2).

Еще один электрохимический метод заключается в следующем. Ослабев в качестве катода помещают в электролит, представляющий собой 5%-й раствор едкого натра или едкого кали при относительно высоком напряжении в ванне (около 10 В). Выделенный на катоде атомарный водород диффундирует сквозь покрытие, скапливается в местах дефектов на пограничной поверхности, а при продолжительном насыщении образует пузыри. Если покрытие выдерживает насыщение водородом более 15 мин без образования пузырей, то можно считать, что они имеют хорошее сцепление с основой.

Количественные методы. Метод отрыва. Метод заключается в осаждении металла на торцевой части цилиндрического образца и последующем отделении покрытия на разрывной машине. На рис. 3 приведена схема отрыва покрытия от основы. Отношение силы, необходимой для отрыва, к площади характеризует прочность сцепления покрытия с основным металлом. Недостатки такого способа заключаются в необходимости осаждения толстых покрытий, пригодных для испытания, и сложности подготовки

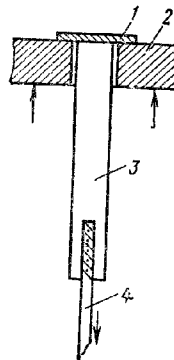


Рис. 3. Схема катода для испытания прочности сцепления:

1 — покрытие; 2 — стальная пластина; 3 — стальной цилиндр; 4 — болт

образца после электролиза к испытанию, так как катод обрабатывают на станке для получения выступающих краев, за которые он удерживается при испытании на разрыв.

Для никелевых покрытий на сталь применяют следующий метод. Плоский калиброванный образец погружают в раствор, который при определенном меднении понижает сцепление электролитического слоя меди с основным металлом. Этот раствор (применяют раствор протенна). Толщина медного слоя должна быть не менее 300 мкм. Участок медного покрытия с ослабленным сцеплением отгибает под прямым углом и определяют силу, необходимую для отрыва никелевого покрытия от основного металла. Метод основан на том, что сцепление между слоями никеля и меди больше, чем между никелевым слоем и сталью. Этот методом испытывают медные слои асбестовых плат, нанесенные на синтетические материалы. Метод применим и для других металлических покрытий.

Метод, основанный на отрыве от покрытия торцов штифтов или шпилек, заключается в следующем. В основной материал вставляют несколько конических шпилек из одинакового материала (рис. 4). Суженные концы шпилек образуют с поверхностью основного материала единую плоскость, на которую наносят покрытие. Сцепление определяется силой P , необходимой для извлечения шпилек из плиты основного материала и, следовательно, для отрыва от покрытия.

Недостаток метода — трудность изготовления образцов для испытаний.

Метод среза. Испытания покрытия на срез или скол (рис. 5) пригодны главным образом для толстых покрытий. Применение метода срез ограничено вследствие сложности изготовления образцов, которые должны быть выполнены таким образом, чтобы на основном материале оставалась только частичка покрытия прямоугольной или квадратной формы размером несколько квадратных миллиметров. Кусок плоского материала из закаленной стали используют как пуансон, сдвигающий оставшийся на основном материале кусочек покрытия, причем верхний край пуансона и верхний край основного

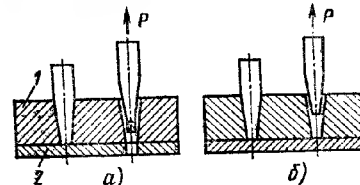


Рис. 4. Схема испытания на прочность сцепления по методу отрыва торцов штифтов:

а — хорошее сцепление; б — плохое сцепление; 1 — основной металл; 2 — покрытие

материала должны совпадать. Если затем сжимать пробу и пуансон в вертикальном направлении, то основной материал, а также частица покрытия уплотнятся, и их высота уменьшится, а закаленный пуансон сохранит при этом свою исходную высоту. К тому моменту, когда сила сцепления кусочка покрытия не сможет больше противостоять действующей на него через пуансон силе, кусочек отпадет от основного металла. Отношение действующего на поверхность образца усилия или разности высот нагруженного и ненагруженного образца к поверхности сцепления определяет прочность сцепления.

Метод деформации. Метод заключается в сжатии по торцам цилиндрических образцов, имеющих покрытие на боковой поверхности. Диаметр образцов 10—20 мм, высота 25—35 мм. Сжатие проводят на прессе таким образом, чтобы высота цилиндра уменьшалась на 1/10—1/5 часть. При этом плохо сцепленное покрытие либо отслаивается, либо растрескивается и отшелушивается. Критерием прочности

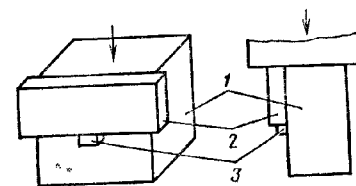


Рис. 5. Схема испытания прочности сцепления на срез или скол:

1 — основной металл; 2 — штамп; 3 — частица покрытия

сцепления является разница массы образца до и после испытания. Метод применяется для определения прочности сцепления хромо- и железных и никелевых покрытий.

Пористость покрытий. Коррозионные методы измерения пористости электролитических покрытий заключаются в том, что для выявления пор испытанный образец обрабатывают специальным раствором, который не действуя на металл покрытия, реагирует через поры с металлом основы и образует хорошо видимые продукты реакции. Полученные таким образом точки коррозии подсчитывают, наблюдая их невооруженным глазом или при увеличении (через лупу либо микроскоп). Точки коррозии на поверхности могут регистрироваться и при испытаниях в атмосферных условиях, или в камерах влажности, либо солевого тумана.

Наиболее распространен метод обнаружения пор при помощи реактивов, дающих с основным металлом окрашенные соединения. Универсальный реагент в этом отношении — раствор красной кровяной соли $K_2Fe(CN)_6$, который, реагируя с ионами железа, образует турбибулеву синь, с ионами меди — железосинеродистую медь, с ионами никеля — железосинеродистый никель. Индикатор — железосинеродистый калий — применяют для определения пористости медных, никелевых, хромированных, оловянных, свинцовых, серебряных и золотых покрытий.

Способы проведения испытаний могут быть различными. В некоторых случаях испытываемый образец погружают на время в соответствующий раствор, затем его вынимают и подсчитывают число появившихся окрашенных точек. Иногда испытываемую поверхность смачивают с помощью тампона и накладывают на нее фильтровальную бумагу, смоченную специальным раствором, или пасту определенного состава.

Метод наложения фильтровальной бумаги применяют для определения пористости катодных металлических покрытий на стали, меди и ее сплавах, на деталях простой формы, если профиль их поверхности допускает наложение фильтровальной бумаги. На обезжиренную поверхность детали накладывают фильтровальную бумагу, пропитанную раствором специального

состава (табл. 16). Бумагу накладывают таким образом, чтобы между поверхностью детали и бумагой не оставались пузырьки воздуха. После снятия бумагу с отпечатками пор в виде точек или пятен промывают струей дистиллированной воды и промывают на чистом стекле.

При испытании медных покрытий бумагу снимают через 20 мин, при испытании однослойных никелевых покрытий на стали — через 5 мин, для всех остальных типов покрытий, кроме оловянных, — через 10 мин.

Для выявления пор, доходящих до меди и латуни, фильтровальную бумагу с отпечатками пор после промывки накладывают на чистое стекло и на нее равномерно наносят раствор, содержащий 40 г/л $K_2Fe(CN)_6$. При этом желтые точки (следы никеля) исчезают, после чего бумагу промывают струей воды и сушат на стекле. Оставшиеся на бумаге красно-бурые и синие пятна (следы пор до меди и стали) подсчитывают.

При определении сквозных пор до никеля бумагу дополнительно обрабатывают аммиачным раствором диметилглиоксима (2 г диметилглиоксима в 1 л 12,5 %-ного водного раствора аммиака). После образования в порах пор точек или пятен ярко-розового цвета, характерного для никеля, фильтровальную бумагу промывают струей воды и сушат на стекле. При этом следы пор до стали и меди бледнеют и не мешают подсчету числа пор до никеля.

Указанные составы растворов можно применять также при проверке пористости серебряных и золотых покрытий на меди, латуни и никеле.

Пористость покрытий с верхним слоем хрома определяют не ранее чем через 30 мин после окончания процесса хромирования. При большом числе пор хромированных покрытий по омеднению стали, меди и ее сплавам следы пор до меди и латуни не полностью смываются и бумагу, и следует считать красно-бурые точки на самой детали.

Метод наложения пасты применяют для определения пористости металлических покрытий на стали, меди, алюминии, никеле и ее сплавах, а также неметаллических неорганических покрытий на алюминии и его сплавах на деталях

Таблица 16. Составы растворов для определения пористости покрытия методом наложения бумаги

Покрытие	Основной металл или металл подслоя	Компоненты раствора	Концентрация, г/л	Время наложения, мин	Признак пористости
Оловянное одно- и многослойное (никель, медь, латунь — хром)	Сталь	$K_2Fe(CN)_6$	10	10	Синие точки — поры до стали
Хромированное одно- и многослойное (никель, медь, латунь — хром)	Медь и ее сплавы	NH_4Cl $NaCl$	30 60		Красно-бурые точки — поры до меди Желтые точки — поры до никеля
Никелевое одно- и многослойное	Сталь	$K_2Fe(CN)_6$ $NaCl$	10 20	5	Синие точки — поры до стали
	Медь и ее сплавы			10	Красно-бурые точки — поры до меди
Никелевое многослойное (медь — никель, никель — медь — никель)	Сталь	$K_2Fe(CN)_6$ $NaCl$	10 5	10	Синие точки — поры до стали Красно-бурые точки — поры до меди Желтые точки — поры до никеля
				20	
Медное		$K_2Fe(CN)_6$ $NaCl$	10 5	60	Синие точки — поры до стали
Оловянное		$K_2Fe(CN)_6$ $NaCl$	10 5	60	

любых форм и размеров; особенно целесообразно применение этого метода для сложнопрофилированных деталей.

Деталь обезжиривают, затем кистью, пульверизатором, окуном или другим способом наносят на ее поверхность пасту. Пасту следует наносить равномерным слоем и выдерживать на поверхности не более 10 мин. Расход пасты 0,5—1,0 г/дм². После проведения контроля пасту удаляют грубой водой, деталь сушат и производят повторное определение пористости на том же участке поверхности. На испытываемой поверхности покрытия подсчитывают число окрашенных участков, соответствующих числу пор. За результат измерения принимают среднее арифметическое значение трех измерений. Полученную пористость относят к единице поверхности.

Для мелких профилированных деталей при определении пор, доходящих до стали, рекомендуют применять метод заливки раствором. Испытуемую деталь заливают специальным раствором. Раствор готовят следующим образом: 20 г желатинизуют, заливают дистиллированной водой до набухания, после чего нагревают на водяной бане до образования коллоидного раствора. Затем к раствору желатина приготавливают раствор из 10 г $K_2Fe(CN)_6$ и 15 г $NaCl$. К полученному раствору добавляют воду для доведения объема до 1 л. Сосуд с раствором хранят в темном месте. Раствором можно пользоваться до тех пор, пока он не начнет темнеть, что является признаком его разложения.

Деталь перед испытанием тщательно обезжиривают. После заливки деталь должна находиться в покое 5 мин, после чего ее поверхность осматривают

и подсчитывают на ней точки. Для крупных деталей вскруг испытуемого участка делают бортики из меднелегированной заматки и в образованную емкость заливают раствор. Следы пор обнаруживают невооруженным глазом по выявившимся на поверхности детали синим точкам.

Для контроля пористости оловянных покрытий на стали кроме метода наложения применяют метод смазывания. Оба метода дают одинаковую точность определения. При методе смазывания применяют раствор следующего состава (г):

$K_4Fe(CN)_6$	2
желатина	20
H_2SO_4 (0,5 н.)	10 мл
$CuSO_4$	200 мл

Деталь смазывают кисточкой дважды. Поры подсчитывают через 10 мин.

Для ускорения процесса растворения металла в порах иногда испытуемый образец подвергают анодной поляризации. В некоторых случаях для выявления пор вместо анодной применяют катодную поляризацию. Последнюю используют в случае низкой электропроводности поверхностного слоя, в частности после анодного окисления, когда в результате большей проводимости основного металла осаждение металла происходит в порах. Кроме того, возможно выявление пор при катодной поляризации по числу пузырьков водорода, выделяющихся в порах вследствие более низкого перенапряжения водорода на основном металле.

Анодной поляризацией выявляют поры оловянного покрытия на меди и латуни. Анодную обработку проводят в растворе, содержащем 10 г/л $K_4Fe(CN)_6$ и 10 г/л Na_2SO_4 , при плотности тока $0,35 \pm 0,05$ А/дм² в течение 5 мин; катод — свинцовая пластина. Для крупных деталей можно применять накладку из четырех—шести слоев марли, пропитанной этим же раствором. Деталь соединяют с положительным полюсом источника постоянного тока; отрицательный полюс присоединяют к свинцовой пластинке, которую кладут на пропитанную раствором марлю.

Анодную поляризацию применяют и при контроле пористости цинковых и кадмиевых покрытий. В этом случае используют также универсальный ин-

дикатор, а анодную обработку проводят для того, чтобы железо через приреагировало с индикатором. Подготовленную деталь погружают в ванну с раствором, содержащим 40 г/л $K_4Fe(CN)_6$ и 2 г/л K_2SO_4 , который можно заменить сернокислым магнием в том же количестве.

Деталь соединяют с положительным полюсом источника тока (если исследуема подвеска, то она должна быть оцинкована или кадмирована). Отрицательным полюсом служит свинцовая пластина. Электролиз ведут при напряжении $4 \pm 0,4$ В в течение 5 мин, после чего деталь вынимают, промывают водой и высушивают фильтровальной бумагой или пистолетом теплого воздуха. В местах пор после исследования появляются синие точки. Затем определяют число пор на 1 см².

Электрографический метод является некоторой разновидностью метода коррозионного испытания с наложением тока. Сущность его заключается в том, что при определенном потенциале металл основы растворяется через поры покрытия, и продукты растворения образуют при взаимодействии с индикатором окрашенный рисунок, характеризующий распределение пор по поверхности.

При использовании этого метода на фотографическую бумагу, служащую подложкой, накладывают фильтровальную бумагу, смоченную соответствующим электролитом. Затем подложку желатинированной стороной накладывают на очищенную сухую поверхность образца, зажимают между двумя электродами в прессе и включают ток. Через 15 с подложку отделяют и проявляют соответствующим реактивом (см. табл. 16). В местах пор образуются окрашенные пятна с резко очерченными границами (четкость электрограммы определяется давлением прессы, которое должно составлять 0,1—0,2 МПа).

Для электрографического исследования неплоскопараллельных проб используют два метода. В одном случае деталь зажимают гипсом и после его отверждения помещают в ванну с электролитом. Гипс достаточно промывают для того, чтобы на его внутренней стороне появился отпечаток пор. После электролиза гипсовую форму разрезают. В другом случае собствен-

ную деталь покрывают слоем электролита, пропитываемым электролитом, окрашенным индикатором. Образовавшиеся с желатиновым слоем перенесены в электролитическую ванну. Окрашенные желатиновым слоем будут окрашенными дефектные места. Рассмотренные методы определения пористости не могут быть использованы для пористых хромовых покрытий, пористость которых в виде каналов формируется в результате частичного анодного травления покрытия (см. гл. 7). Наиболее простой метод оценки пористости хромовых покрытий — визуальный, заключающийся в исследовании окрашенной поверхности с помощью дуны или микроскопа, и сравнения ее с эталонными образцами.

Для проверки пористости можно использовать также метод контактных отпечатков, который заключается в обработке покрытия специальной пастой с последующей фиксацией пор покрытия с помощью фотобумаги. Получение отпечатков на фотобумаге основано на взаимодействии сернистого натрия, содержащегося в пасте, с бромистым серебром фотобумаги с образованием сернистого серебра (черный цвет). Для получения на бумаге достаточно четких отпечатков пасту необходимо тщательно уплотнить в каналах и порах и полностью удалить с горизонтальных участков между ними. Состав пасты: 15 мл раствора Na_2S , 10 г талька, 2 капли глицерина.

Для покрытия с малой степенью пористости применяют 20 %-ный раствор Na_2S , для покрытий со степенью пористости 20 % используют 50 %-ный раствор.

Вместо талька можно применять мел, графит и другие индиферентные материалы. Степень пористости покрытия в процентах определяют по градуировочной кривой (рис. 6) подсчетом числа горизонтальных участков (плато), приходящихся на единицу площади поверхности хромового покрытия, с помощью стеклянной микро-решетки, разделенной на квадратные миллиметры.

Подсчет количества плато на 1 мм² можно проводить с помощью микроскопа при увеличении в 100—150 раз.

В прямой зависимости от пористости находится так называемая маслосе-

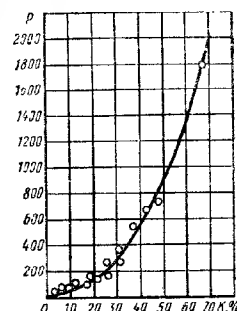


Рис. 6. Градуировочная кривая для определения пористости хромовых покрытий (P — количество плато на 1 мм², K — степень пористости)

кость хромовых покрытий. Маслосе-кость можно определить весовым и капельным методами. При весовом методе определяют массу впитавшегося масла (цилиндрическое масло № 2 или авиационное МС), отнесенную к 1 дм² хромового покрытия. С этой целью взвешенный образец пропитывают маслом в течение 1—1,5 ч при температуре 80 °С, затем тампоном снимают масляную пленку и вновь взвешивают.

Капельным методом маслосе-кость определяют по продолжительности впитывания капли очищенного керосина в каналы и поры покрытия. Для обеспечения постоянства размеров капель, наносимых из пипеток на поверхность покрытия, необходимо калибровать пипетку. При диаметре выходного отверстия пипетки около 0,8 мм масса одной капли керосина равна примерно 13 мг. Высота падения капли не должна превышать 1 см.

Для расчета абсолютной маслосе-кости (количество масла, поглощенного на 1 дм² поверхности) изготовляют эталоны. На этих эталонах определяют маслосе-кость весовым и капельным методами и строят градуировочную кривую.

Микротвердость. Ее определение проводят с помощью прибора ИМТ-3, принцип работы которого основан на вдавливании алмазной пирамиды в покрытие.

Применяемый при испытании на микротвердость алмазный наконечник представляет собой правильную четы-

рехугольную пирамиду с углом между противоположными гранями при вершине $\alpha = 136^\circ \pm 2^\circ$. Грань пирамиды должна быть тщательно отполирована и не должна иметь трещин, царапин и других поверхностных дефектов.

При подготовке поверхности испытуемого образца необходимо принять меры предосторожности против возможного изменения его твердости вследствие нагрева или наклепа поверхности в результате механической обработки.

Измерение проводят при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Необходимость измерения при другой температуре должна быть указана в инструкции. Рабочая поверхность алмазной пирамиды и испытуемая поверхность образца должны быть при испытании сухими (без смазки).

Микротвердость 7 покрытия определяют делением нагрузки P на условную площадь боковой поверхности F полученного отпечатка:

$$T = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2},$$

где P — нагрузка на пирамиду; $\alpha = 136^\circ$ — угол между противоположными гранями пирамиды при вершине; d — длина диагонали отпечатка после снятия нагрузки, мм.

Микротвердость электролитического покрытия можно определять двумя путями: вдавливанием алмазной пирамиды либо перпендикулярно слою покрытия, либо в торце покрытия. Предпочтительнее способ вдавливания перпендикулярно слою покрытия, так как в этом случае не надо готовить микрорельефы. Кроме того, в случае вдавливания пирамиды в торец покрытия толщина его должна быть больше 10 мкм (при диагонали отпечатка 10 мкм), а в случае вдавливания перпендикулярно слою покрытия глубина погружения алмазной пирамиды с углом при вершине 136° составляет 10 : 7 = 1,3 мкм, и, следовательно, измерение можно выполнить при меньшей толщине покрытия.

Продолжительность выдержки под нагрузкой не должна быть менее 5 с. Для прибора ПМТ-3 длительность спуска индентора принимают не менее 15 с.

Для правильного определения микротвердости электролитических покрытий необходимо также знать минимальную толщину слоя покрытия, при которой металл не будет оказывать искажающего влияния на точность измерений. Это особенно важно, если металл основы мягче металла покрытия.

Минимальная толщина покрытия, при которой обеспечивается правильное измерение микротвердости, зависит от твердости покрытия и основы, а также от применяемой нагрузки при вдавливании.

Внутренние напряжения. Собственные, или внутренние, напряжения металлов делят на внутренние напряжения 1, 2 и 3-го рода.

Напряжения 1-го рода — макронапряжения существуют в пределах, по меньшей мере, одного миллиметра, т. е. охватывают несколько кристаллов, постоянны по величине и по направлению. В зависимости от направления их действия различают напряжения сжатия и напряжения растяжения.

Напряжения 2-го рода — микронапряжения существуют в пределах одного кристаллита, постоянны по величине и по направлению, но между кристаллитами они различны.

Внутренние напряжения 3-го рода реализуются в пределах атома.

Внутренние напряжения покрытий являются их важной технической характеристикой, определяющей ряд свойств, таких, как коррозионная микротвердость и т. д. Внутренние напряжения могут быть измерены различными методами.

Метод гибкого катода. Один конец узкой и, по возможности, толстой металлической полоски, с одной стороны имеющей гальваническое покрытие, закрепляют неподвижно, оставив второй ее конец свободным. На стороне пластинки без изоляции осаждают металл, причем в металлическом покрытии возникают внутренние напряжения, которые вычисляют по формуле

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{E_0 \delta_m^2 \chi}{3r^2 \delta_n},$$

где E_0 — модуль упругости пластинки без гальванического покрытия; δ_m —

толщина пластинки без покрытия; δ_n — толщина покрытия; χ — отклонение свободного конца пластинки от первоначального положения.

Один из вариантов схем этого метода показан на рис. 7. На свободном конце пластинки, рядом с зеркальцем, находится якорек 6 из железной проволоки, который входит в катушку соленоида. Через соленоид пропускают ток. В магнитном поле соленоида якорек намагничивается и втягивается внутрь соленоида силой, пропорциональной квадрату силы тока, протекающего через соленоид. Эту силу тока устанавливают так, чтобы сумма сил, действующих на пластинку, равнялась нулю. При этом сила тока, протекающего через соленоид, становится мерой собственного микронапряжения в осаждаемом слое. Луч света, отраженный от зеркальца, увеличенного на пластинке, показывает на световой шкале величину отклонения свободного конца пластинки от исходного положения.

Метод гибкого катода используют и при визуальном наблюдении смещения конца катода с помощью микроскопа или проекции катода на экран.

Метод спирального контрактометра. Широко используемый спиральный контрактометр Бреннера и Сендероффа также основан на принципе деформации полоски. Основной частью этого прибора является спирально изогнутая металлическая полоска (рис. 8). Деформация, т. е. закручивание спирали, передается особой системой указателя. Внутренние напряжения гальванического покрытия измеряют с помощью следующего уравнения:

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{E_0 \delta_m^2 \Delta \alpha}{2R \pi n \delta_n},$$

где E_0 — модуль упругости катода; δ_m и δ_n — соответственно толщина катода и покрытия; $\Delta \alpha$ — угол закручивания спирали; R — радиус спирали; n — количество витков спирали.

Метод измерения деформации после окончания электролиза. Образцы в виде нескольких тонких пластинок зажимают в прободержателе и на-

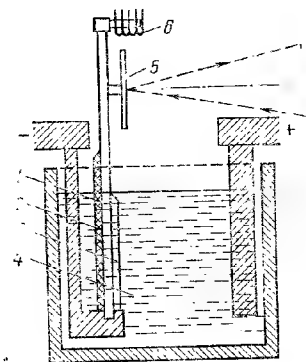


Рис. 7. Схема установки для измерения внутренних напряжений: 1 — ленточный катод; 2 — изолирующий лак; 3 — гальваническое покрытие; 4 — электрод; 5 — зеркало; 6 — якорек из железной проволоки, входящий в соленоид

сят с одной стороны пластинку защитный лак. На другую сторону пластинок осаждают покрытие и затем измеряют получившийся прогиб на устройстве, показанном на рис. 9. Чтобы шуп не деформировал тонкую пластинку, устройство снабжено сигнальной лампой, зажигающейся в момент прикосновения шупа к пластинке. Для этого случая используют следующую расчетную формулу:

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{4}{3} \frac{E_0 \delta_m^2 a}{\delta_n^2},$$

где a — измеренная стрела прогиба.

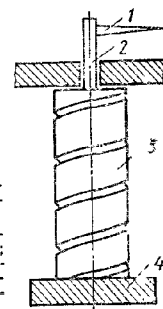


Рис. 8. Схема спирального контрактометра: 1 — указатель; 2 — стрелка прибора; 3 — спирально изогнутая металлическая полоска; 4 — основание

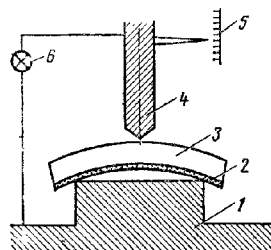


Рис. 9. Устройство для измерения деформации катода;

1 — плита основания; 2 — гальваническое покрытие; 3 — пластина основного металла; 4 — измерительный шуп; 5 — шкала; 6 — сигнальная лампа

Метод растяжения-сжатия катода. Метод измерения растяжения или сжатия ленточного катода, жестко закрепленного с одного конца, реализован в приборе IS-meter, выпускаемом в ЧССР. В качестве ленточного катода обычно применяют медную фольгу длиной 100—110 мм, шириной 5 мм и толщиной 0,02 мм. Регистрацию деформации катода ведут либо с помощью специальной стрелы, связанной со свободным концом катода, либо с помощью индикатора часового типа (рис. 10). Внутренние напряжения

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{E \delta_m}{2l \delta_n} \Delta,$$

где E — модуль нормальной упругости материала катодной ленты; δ_m — толщина катодной ленты; δ_n — толщина осаждаемого металла (покрытия); Δ — деформация катода; l — длина катодной ленты.

Защитная способность. Для оценки защитной способности гальванических покрытий используют следующие основные критерии:

- количество коррозионных поражений (точек) после определенного времени испытаний;
- время до появления первого коррозионного поражения;
- время до появления определенного количества коррозионных поражений;
- определенные доли поверхности, занятые продуктами коррозии;
- определение степени потускнения

или изменения цвета поверхности покрытия.

При испытании образцов или деталей с защитными покрытиями обращают внимание на цвет продуктов коррозии. Например, продукты коррозии железа — бурого цвета, алюминия, цинка, кадмия — белого цвета, меди — сине-зеленого и т. д.

Испытания ведут как в лаборатории, так и в естественных условиях — путем выдержки образцов в атмосфере, почве, речной или морской воде.

Наиболее широко применяют лабораторные испытания следующих видов:

погружением в агрессивные растворы, в том числе в 3 %-ный раствор NaCl;

циклическим переменным погружением образцов (20—30 % времени в коррозионной среде, 70—80 % — в атмосфере);

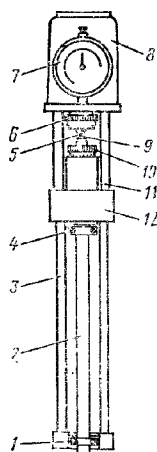


Рис. 10. Прибор для измерения внутренних напряжений IS-meter (прибор Дюржак-В; обелян);

1, 4 — зажимы для крепления образца; 2 — образец; 3, 11 — рамка прибора, покрытая тефлоном; 5 — наконечник измерительного устройства; 6 — кольцо для установки наконечника измерительного устройства; 7 — измеритель деформации, градуированный в мкм; 8 — защитный кожух; 9 — наконечник устройства для предварительного натяжения катода; 10 — кольцо для установки наконечника устройства для предварительного натяжения; 12 — защитный кожух

испытанием в камере при 100 % влажности;

испытанием в камере распыления солевого тумана.

Широко применение находят методы испытаний, получившие названия КАСС и Кордкот.

При испытании по методу КАСС применяют раствор, содержащий 5 % (масс. доли) NaCl, подкисленный уксусной кислотой до значения pH 3,1—3,3. В течение всего времени испытания производят непрерывное распыление указанного раствора таким образом, чтобы на горизонтальной поверхности коллектора площадью 80 см² за 1 ч улавливалось 0,75—2,0 мл. Распыление прерывают лишь для повторного исследования образца. Температура испытательной камеры составляет 50 °С. Размеры камеры не оговариваются.

Солевой раствор содержит также 0,264 г/л CuCl₂.

Распыление раствора во время испытания производят непрерывно. Средний массовый расход раствора из 80 см² поверхности коллектора составляет 1,0—2,0 мл.

Испытание по методу Кордкот применяют для проверки никель-хромовых покрытий или покрытий медь-никель-хром по стали и цинковым отливкам в условиях, имитирующих воздействие дорожной грязи. После испытания повреждения покрытия, доходящие до основного металла, определяют по местному выступанию продуктов коррозии. Испытание проводят в следующем порядке.

1. Очищают детали при помощи синтра, джет-лового эфира, ацетона или керосина.

2. Наносят на образец равномерный тонкий слой (около 50 мкм) Кордкот-пасты. Пасту наносят вручную кисточкой или пульверизацией.

Кордкот-паста имеет следующий состав (г):

FeCl ₃ · 6H ₂ O	0,99
Cu(NO ₃) ₂ · 3H ₂ O	0,21
NH ₄ Cl	6,0
каолин	180
вода дистиллированная или полностью обессоленная	300 мл

Хлорид железа, нитрат меди и хлорид аммония растворяют в 50 мл воды, затем добавляют каолин и остальные 250 мл воды. Все компонен-

ты размешивают до состояния пасты. Хорошо зарекомендовал себя каолин, отвечающий следующим параметрам:

содержание глины, масс. доля, %	93 ± 5
остаток на сите 0,053 мм, не более	0,10
общая кислотность (в виде K ₂ O + Na ₂ O), масс. доля, %	не более 0,60

3. Просушивают пасту на образце при комнатной температуре и относительной влажности ниже 50 % в течение 1 ч.

4. Выдержка образца во влажной камере при 38 °С и 80—90 %-ной относительной влажности воздуха. На деталях не должно быть никакого отложения конденсата. Во время испытания влажный воздух пропускают через соответствующий прибор для обеспечения равномерной температуры. Продолжительность этой влажной выдержки составляет 16 или 20 ч.

5. По окончании выдержки образцы вынимают из камеры, очищают от пасты при помощи проточной воды и чистой, мягкой салфетки или влажной мягкой губки. Допускается применение слабого абразива.

6. Так как в результате очистки (см. п. 5) продукты коррозии удаляются, необходимо снова вызвать места поражения. Это можно осуществить путем испытания в солевом тумане в течение 4 ч, выдержки в течение 24 ч во влажной камере при 100 % относительной влажности воздуха (при комнатной или умеренно повышенной температуре) или путем какого-либо другого способа, предназначенного для выявления коррозии основного металла.

Кордкот-испытание может быть проведено с некоторыми изменениями. Наиболее существенным изменением является конденсирование воды на испытуемых образцах. Если требуется провести несколько испытательных циклов по 16 или 20 ч, то после каждого цикла образцы отмывают от пасты, а затем наносят ее вновь. Обычно бывает достаточно одного или двух циклов.

Кордкот-испытание применяют преимущественно для производственного контроля, так как результаты этих испытаний получают быстрее, чем при климатических испытаниях.

КОНТРОЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛА

Определение допустимой катодной плотности тока. Допустимая катодная плотность тока — это максимально возможная плотность тока, при которой получают покрытия без дефектов. Допустимая плотность тока определяется визуально по внешнему виду покрытия на образце (цвет, блеск, структура и т. п.) и зависит от состава электролита.

Для определения допустимой плотности тока по результатам одного эксперимента может быть использована ячейка Хулла (рис. 11), в которой катодная пластина АВ расположена под углом к аноду СД.

Размеры сторон ячейки зависят от ее объема. Для ячейки объемом 250 мл: $a = 64$, $b = 48$, $c = 102$, $d = 127$, $h = 65$ мм. Для ячейки объемом 1000 мл: $a = 85$, $b = 120$, $c = 127$, $d = 212$, $h = 85$ мм.

После электроосаждения покрытия в течение 1 ч при заданной силе тока I (А) определяется длина участка без дефектного покрытия (расстояние x в мм).

Допустимая плотность тока i_k (А/дм²) определяется для ячейки Хулла объемом 250 мл по формуле

$$i_k = 1.3,3 [1 - 0,434 \ln (x/10)];$$

для объема 1000 мл по формуле

$$i_k = 1.5,1 [1 - 0,434 \ln (x/10)],$$

Определение рассеивающей способности электролитов. Для оценки рассеивающей способности предложены различные показатели. Выбор показателя

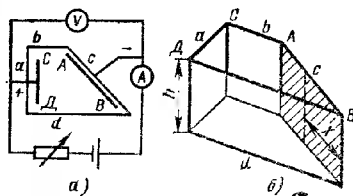


Рис. 11. Схема установки для определения допустимой плотности тока: а — схема установки; б — ячейка Хулла; СД — анод; АВ — катод; b , d — боковые стороны; x — длина пластины с качественным покрытием; h — высота ячейки; a , b , c , d — стороны ячейки

зависит от используемого метода определения рассеивающей способности, в первую очередь от типа ячеек.

В лабораторных условиях широко применяют ячейки с плоскопараллельными электродами, шеление с угловым катодом, ячейки Хулла, с шайборазборными электродами (например, прибор Оденна).

При использовании ячеек с плоскопараллельными электродами рассеивающую способность электролитов можно оценить по величине двух основных факторов: K — отношение расстояния между анодом и катодом из двух катодов, находящихся на различном удалении от анода, и M — отношению масс осаждаемых металлов на катодах.

С этой целью используют следующие показатели:

$$PC_1 = \frac{K - M}{K} 100\%;$$

$$PC_2 = \frac{K - M}{K - 1} 100\%;$$

$$PC_3 = \frac{K - M}{K + M - 2} 100\%;$$

$$PC_4 = \frac{K - 1}{M - 1} 100\%;$$

$$PC_5 = \frac{K}{K + M - 1} 100\%.$$

Для определения рассеивающей способности с помощью шелевых ячеек (рис. 12, в), ячеек с угловым катодом (рис. 12, а) и ячеек Хулла (рис. 12, б) используется показатель

$$PC_6 = \frac{M_{i \min} \cdot n}{\sum_{i=1}^n M_i} 100\%,$$

где $M_{i \min}$ и M_i — изменение массы наиболее удаленной пластины катода и каждой из пластин; n — число пластин.

Катод в ячейках представляет набор одинаковых по площади поперечности пластин или фольгу, которую затем разрезают на n полос одинаковой ширины. Допускается разделить поперечность фольги на две части в определенном соотношении площадей, например 1:10, при этом полоса наиболее удаленной части фольги должна иметь меньшую площадь,

При использовании шелевой ячейки (рис. 12, в) можно использовать также показатель

$$PC_7 = \frac{\sum M_i - 2,615}{5,385} 100\%.$$

При использовании ячеек с шайборазборными электродами (рис. 12, г) также применяют показатель PC_6 .

В этом случае $M_{i \min}$ — изменение массы наиболее удаленной шайбы от

анода, $\sum M_i$ — суммарное изменение

масс всех шайб, а n — число шайб.

Кроме того, рассеивающую способность электролитов можно характеризовать электрохимическими параметрами:

$$PC_8 = 1 - \frac{1}{\rho} \frac{dF}{dI},$$

где l — расстояние между электродами, см; ρ — удельное электроосаждение раствора, Ом·см; dF/dI — изменение поляризации катода при изменении плотности тока (Ом·см²).

Выравнивающая и микровыравнивающая способность электролитов. Различные в скоростях электроосаждения на микровоспущах поверхности катода приводит к различному микрораспределению металла (рис. 13). Равномерное (идеальное) микрораспределение соответствует случаю одинаковой скорости осаждения на выступах и впадинах (рис. 13, а). При положительном выравнивании скорость осаждения больше в углублениях (рис. 13, б), а при отрицательном выравнивании (антивыравнивании) наиболее высокая скорость осаждения наблюдается на микровыступах (рис. 13, в).

Для количественной оценки выравнивающей и микровыравнивающей способности эффект микровыравнивания (положительный или отрицательный) связывают с микрораспределением осадков по толщине и затем сравнивают с первичным (геометрическим) распределением тока. Общим объектом, с помощью которого определяют выравнивающую способность (ВС), является полный sinusoidalный профиль с длиной волны sinusoid λ 50–100 мкм и амплитудой в 10–20 раз меньшей длины волны. После электроосаждения металла на такой профиль изготавливают поперечный шлиф и из-

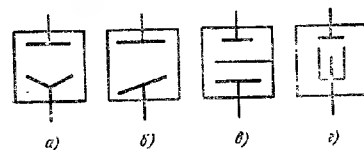


Рис. 12. Схемы ячеек для измерения РС электролитов

меряют под микроскопом соответствующие параметры. Возможно для этой цели проводить съемку профилей микро и после нанесения покрытий. Расчет выравнивающей способности ведут по формуле

$$BC = - \frac{l}{2\pi\delta_{cp}} \ln \frac{n}{l_e},$$

где l — длина волны sinusoid; h_0 и h — амплитуда sinusoid до и после электроосаждения; δ_{cp} — средняя (расчетная) толщина слоя металла. Если отношение h/h_0 близко к единице, то можно воспользоваться одним из следующих соотношений:

$$BC = - \frac{l}{2\pi\delta_{cp}} \frac{h - h_0}{h_0} = \frac{l}{2\pi\delta_{cp}} \frac{h_0 - h}{h_0}$$

($BC = 0$ соответствует равномерному распределению металла, $BC > 0$ — положительному выравниванию, $BC < 0$ — отрицательному микровыравниванию).

Микровыравнивающая способность может быть рассчитана аналогично обычной выравнивающей способности, с учетом того, что в качестве ближнего катода принимается вершина микровыступа, а в качестве дальнего катода — дно микроуглубления.

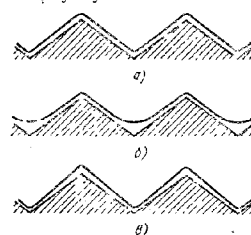


Рис. 13. Схема микрошлифов пологого sinusoidalного профиля: а — равномерное микрораспределение; б — положительное выравнивание; в — отрицательное выравнивание (антивыравнивание)

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ И СТАЦИОНАРНЫЕ ВАННЫ

Все недостатки поверхностей деталей, поступающих в гальванический цех, перед нанесением покрытий устраняют механической, химической или химико-механической обработкой.

К механической обработке прежде всего следует отнести полирование и шлифование.

ШЛИФОВАЛЬНО-ПОЛИРОВАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

К этому виду оборудования относятся: станки общего и специального назначения для обработки деталей вручную; шлифовально-полировальные полуавтоматические и автоматические установки; галтовочные барабаны; вибрационные установки.

Шлифовально-полировальные станки для ручной обработки могут быть одно- и двухшпиндельные, ленточные и станки специального назначения.

Наибольшее распространение в гальванических цехах получили двухшпиндельные универсальные шлифовально-полировальные станки (рис. 1).

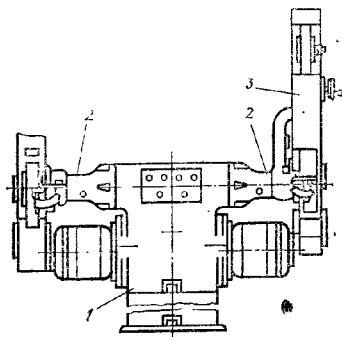


Рис. 1. Универсальный шлифовально-полировальный станок:

1 — станки; 2 — шлифовальные бабки; 3 — механизм натяжения ленты

Конструктивно эти станки состоят из станины, на которой закреплены электродвигатели, шлифовальные бабки со шпинделями для насадки шлифовально-полировальных кругов или ленты, механизм натяжения ленты, станция включения-выключения электродвигателя, механизм подачи пасты.

От шкива электродвигателя через клиноременный ступенчатый или бесступенчатый вариатор вращение передается на шпиндель.

В универсальных станках устанавливают два электродвигателя, обеспечивающих автономную работу на каждом шпинделе.

Применяются также станки, на которых установлен только один электродвигатель. В этом случае вращательное движение на оба шпинделя передается двумя ременными передачами от одного двигателя.

На левую бабку универсального шлифовально-полировального станка монтируют защитный кожух, а на шпиндель насаживают полировальный круг. На правую бабку устанавливают механизм натяжения ленты.

Станки такого типа предназначены для полирования плоских, сферических и профилированных поверхностей.

Использование бесконечной шлифовальной ленты повышает производительность труда, кроме того, полирование лентой позволяет обрабатывать поверхность более сложной конфигурации.

Шлифовально-полировальные станки большим ассортиментом выпускаются отечественной и зарубежной промышленностью.

Наиболее широко применяется в гальванических цехах оборудование, выпускаемое Дербентским заводом шлифовальных станков. Этот завод выпускает универсальные станки различной мощности и размеров. Технические характеристики таких станков приведены в табл. 1.

1. Технические характеристики универсальных шлифовальных станков

Модель станка	Мощность электродвигателя, кВт	Частота вращения шпинделя, об/мин	Диаметр контактного ролика или полировального круга, мм	Расстояние между контактными роликами, мм	Габариты станка, мм
3А852	0,75—1,0	1420—1850	200	480	2100×600
3853	1,7—2,2	1270—3150	315	1280	3100×1000
3854	4,5—5	1000—3200	450	1400	3500×1400
3854А	4,5—5	1000—3200	400	1400	3500×1400
3855	7,0	800—1580	500	1600	4000×1400

На рис. 2 приведена схема настольного ленточно-полировального станка НЛПС, предназначенного для полирования и зачистки наружных поверхностей деталей различной формы.

При полировании лентой детали могут обрабатываться как на валу или контактом ролика, так и на свободном участке ленты.

Станок состоит из подставки-станции, электродвигателя, вала, натяжного устройства ленты с роликами, телескопической штанги и кожуха. К кожуху подводится система вытяжной вентиляции. При помощи специальной пружины лента во время работы всегда находится в натянутом состоянии.

При обработке фасонных деталей шлифование производят на среднем контактном ролике, профиль которого должен соответствовать профилю обрабатываемой детали.

На рис. 3 показана схема станка модели 3824, предназначенного для шлифования и полирования неровных криволинейных поверхностей.

Обрабатываемую деталь 7 с приспособлением 8 для ее крепления устанавливают на шпинделе 9 станка. Со шпинделем жестко связаны рычаг 12 и ролик 13, который контактирует с копиром 14 поворота шпинделя. Плотный контакт шпинделя с копиром обеспечивается пружиной 11. Лента приводится в движение шкивом 1 с окружной скоростью 15 м/с. Подача на врезание рабочего копира с лентой выполняется при помощи пиполи 3. Окончание обработки фиксируется переключателем 4 и рычагом 5, жестко закрепленными на пиполи.

Технические характеристики универсальных ленточных станков, приведены в табл. 2.

Станции установок крепятся к тяжелой фундаментной плите, при помощи которой они устанавливаются в настольном варианте.

Трудоемкость шлифовально-полировальных операций составляет более 50 % трудоемкости всех операций при гальванической обработке. Этот процесс усложняется при обработке крупногабаритных сложнопрофилированных деталей, на поверхность которых требуется наносить защитно-декоративные покрытия.

Применение автоматических и полуавтоматических установок, сиректи-

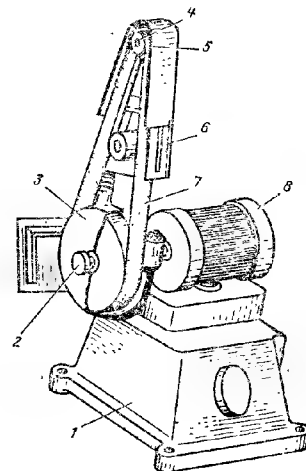


Рис. 2. Настольный ленточно-полировальный станок НЛПС:

1 — станция; 2 — вал; 3, 6 — кожухи; 4 — натяжное устройство; 5 — ролик; 7 — абразивная лента; 8 — электродвигатель

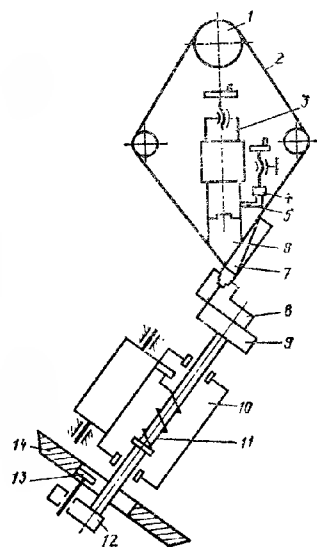


Рис. 3. Кинематическая схема шлифовально-полировального станка модели 3824:

1 — шкив; 2 — абразивная лента; 3 — пиннолы; 4 — переключатель; 5 — рычаг; 6 — рабочий копир; 7 — обрабатываемая деталь; 8 — приспособление; 9 — шпиндель; 10 — дюлька; 11 — пружина; 12 — рычаг; 13 — ролик; 14 — копир

рованных под конкретную деталь серийного или массового производства, а также автоматических линий, которые можно налаживать на режимы обработки однотипных или разнотипных по форме деталей, снижает трудоемкость этих операций.

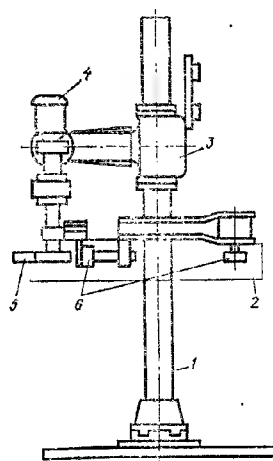


Рис. 4. Схема шлифовально-полировальной головки

Основным агрегатом некоторых автоматических линий являются универсальные шлифовально-полировальные головки (рис. 4), состоящие из основания со стойкой 1, по которой движется траверса 3. Траверса может перемещаться вертикально и вращаться вокруг стойки на 360°.

На траверсе укреплен электродвигатель 4. На шпиндель головки через редуктор устанавливается шлифовальный инструмент 5. В качестве шлифовального инструмента может быть использован шлифовальный круг или абразивная лента. При использовании абразивной ленты головка дополнительно снабжается устройством 6 для

натяжения ленты и защитным кожухом 2. Через защитный кожух осуществляется отсасывание пыли.

Переналадка универсальной головки с работы шлифовальным кругом на шлифовальную ленту не представляет трудностей. Натяжение ленты производится при помощи пневмоустройства.

Универсальные головки в необходимом количестве устанавливаются около транспортного устройства, которое в специальных приспособлениях передвигает детали относительно шлифовального инструмента, укрепленного на головке. При выходе из строя головки может быть заменена другой.

В зависимости от формы транспортного устройства автоматические линии с универсальными головками могут быть конвейерные и карусельные. Скорость движения транспортного устройства в них зависит от вида обработки и регулируется в пределах 1,8—7 м/мин.

Линии с универсальной головкой применяются на заводах автомобильной промышленности для шлифования длинномерных деталей (бампер, решетка радиатора и др.). В этих автоматических линиях устанавливается до 50 универсальных головок.

Установка головок производится по наружной или внутренней стороне конвейера, а при необходимости головки ставят с двух сторон конвейера.

Управление линиями осуществляется с пульта, где контролируется работа каждой головки.

При работе универсальной головки предусмотрена периодическая подача жидкой пасты на полировальные круги при помощи специальных пистолетов-распылителей.

Автоматические линии с универсальными головками имеют высокую производительность, надежны в работе, легко налаживаются для обработки разнотипных деталей. Эти линии целесообразно применять при массовом и крупносерийном производстве для деталей с нешлифованной поверхностью.

Галтовка * предназначена для очистки поверхности металла от коррозии,

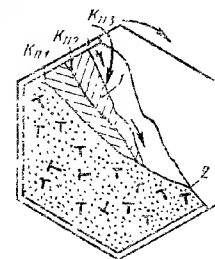


Рис. 5. Схема процесса галтовки деталей в шестигранном барабане:

1 — активная зона; 2 — мертвая зона; $K_{п1}$ — $K_{п2}$ — поверхности отрыва деталей и исполнителя от стенки барабана

окалтин, а также позволяет снимать заусенцы и закруглять острые кромки. Галтовка в основном используется для очистки деталей, полученных литьем и штамповкой.

В качестве оборудования используются галтовочные барабаны многогранной и цилиндрической формы. Оптимальные результаты обработки достигаются при использовании шестигранных барабанов.

Частота вращения барабана определяется размером и конфигурацией деталей, их количеством в барабане и характером абразивного наполнителя.

В шестигранном барабане при вращении всегда возникает (рис. 5) «мертвая» зона 2, где детали и зерна абразивного материала практически не перемещаются относительно друг друга, и активная зона 1, в которой происходит процесс очистки.

По конструкции галтовочные барабаны можно разделить на консольные (колокольные), термистичные, перфорированные, специальные.

Барабаны различны по форме, отличаются по устройству для загрузки и выгрузки деталей, а также по расположению оси вращения.

Для обработки мелких деталей применяют барабаны с внутренними перегородками, при этом барабан может быть двух- и трехкамерный.

Крупногабаритные детали обрабатываются в специальных многокамерных барабанах, где в каждой камере помещаются одна-две детали. Чем больше диаметр барабана, тем больше давление оказывают детали друг на друга

2. Основные данные универсальных ленточных станков различных модальностей

Параметры	ЗБ 890	ЛСП	НЛПС
Размеры абразивной ленты, мм:			
длина	1600	1650	1690
ширина	160	39	50
Диаметр ведущего ролика, мм	132	350	220
Скорость ленты, м/с	10; 14; 20; 28	30	30
Мощность приводного двигателя, кВт	3,3/4,1	1,7	1,0
Габаритные размеры, мм:			
длина	900	—	500
ширина	735	—	350
высота	1635	—	810

* По ГОСТ 23505—79 рекомендуется применять термин жидкостно-абразивная обработка.

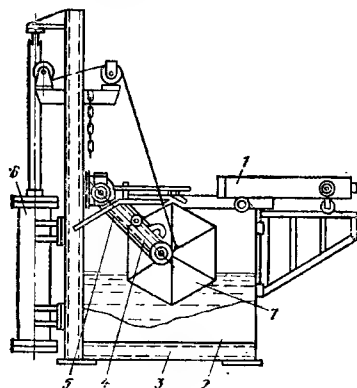


Рис. 6. Установка для гидрополирования алюминиевых деталей

и на абразивный материал в тем интенсивнее протекает процесс обработки.

Для барабанов большого диаметра частоту вращения снижают; так, для диаметра 0,5 м частота вращения должна составлять 30—40 об/мин, для диаметра 0,8 м — не более 25 об/мин. При обработке тяжелых и крупногабаритных деталей частота вращения должна быть 12—15 об/мин. В тех случаях, когда в качестве наполнителя используют мягкие материалы (опилки, фетр, кожу и др.), а также когда необходимо снять большой слой металла, целесообразно использовать барабаны большого диаметра.

При обработке твердыми материалами (дробью и др.) используют барабаны малого диаметра.

В цилиндрических барабанах обработка деталей идет значительно медленнее, чем в граненых, так как путь и скорость перемещения деталей в таких конструкциях меньше, чем в многогранных.

Барабаны со смещенной осью относительно геометрической создают интенсивное движение и перемещение деталей. При такой конструкции барабана детали совершают сложное движение с различными скоростями во времени.

Скорость шлифования и шероховатость обрабатываемой поверхности определяются соотношением длины ба-

рабана к его диаметру. Так, для барабана диаметром 200—500 мм отношение длины к диаметру должно составлять не менее 2, для диаметров 500—600 мм — 1,5.

Для получения поверхности с меньшей шероховатостью применяют перфорированные полировальные барабаны, работающие в жидкости. В перфорированном барабане жидкая фаза улучшает процесс полирования деталей при постоянной промывке (рис. 6). Установка состоит из рамы 3, двух баков 2, в которых на подвесках 4 помещен шестигранный перфорированный барабан 7.

Для подъема и опускания барабана в ванну имеется подъемный механизм с пневмоприводом 6. За счет смещения цапф цепной передачи 5 барабану сообщается сложное вращение. Загрузка и выгрузка деталей и наполнителей обеспечивается с помощью тележки 1 с поддоном. Масса деталей, загружаемых в барабан, составляет до 40 кг. Барабан приводится в движение с частотой вращения 28 об/мин.

Применение данной установки снижает трудоемкость полирования алюминиевых деталей в 2 раза.

Широко применяется вибрационная обработка, которая имеет широкие технологические возможности и высокую производительность. Высокая интенсивность и экономичность вибрационных процессов обусловлены возможностью обработки одновременно всей поверхности большого количества деталей.

Сущность вибрационной обработки в абразивной среде состоит в том, что протекает процесс механической или химико-механической обработки поверхности деталей за счет большого числа соударений абразивного материала рабочей среды с деталями.

Обрабатываемые детали загружаются в резервуар, в котором имеется рабочая среда. Вся система подвергается вибрации, в результате которой возникают сложные колебания резервуара, деталей и обрабатываемой среды. Рабочая среда и обрабатываемые детали начинают интенсивно перемещаться и медленно вращаться. Вибрация передается от стенок рабочей камеры прилегающим слоям рабочей среды, которые передают ее следующим слоям, и т. д.

В процессе обработки детали непрерывно меняют положение в рабочей среде и проходят различные зоны рабочей камеры. Такое движение деталей обеспечивает равномерную обработку всех ее поверхностей, контактирующих с частицами рабочей среды. Воздействие на обрабатываемую деталь одновременно множеством частиц в различных направлениях способствует удержанию ее во взвешенном состоянии, исключая таким образом грубые вавонны и повреждения деталей.

Скорость обработки во многом зависит от частоты и амплитуды вибрации.

В промышленных установках частота вибрации может изменяться в пределах 15—50 Гц.

С увеличением амплитуды колебаний резко увеличивается съем металла с поверхности деталей. Поэтому в зависимости от материала детали, ее геометрических размеров и жесткости определяется амплитуда колебаний системы. Для промышленных установок амплитуда колебаний может изменяться от 0,5 до 9 мм. Увеличение амплитуды колебаний выше оптимальной приводит к повышению шероховатости поверхности детали, а для тонких деталей к короблению.

К числу основных параметров, характеризующих рассматриваемый процесс, относятся: скорость частиц рабочей среды (0,3—1 м/с), ускорение (20—150 м/с²); сила микроударов (15—30 Н и более); контактное давление (150—1500 МПа); среднее приращение температуры в зоне микроударов (20—700 °С) при средней температуре в рабочей камере 30—40 °С.

Область применения вибрационной абразивной обработки весьма широка, например, очистка поверхности деталей сложной формы от окалин, остатков формовочной смеси, следов коррозии; снятие заусенцев и скругление острых кромок на профилированных и мелких деталях; полирование и шлифование поверхности сложнопрофилированных деталей. Кроме того, вибрационная обработка позволяет упрочнять поверхность деталей, повышая их микротвердость; наносить покрытия приработочными материалами, такими, как дисульфид молибдена; удалять облой с пластмасс; производить очистку деталей от жировых загрязнений и т. д.

Особый эффект достигается при обработке поверхности сложных тонкостенных деталей, которые другим методом обработать практически невозможно.

Рабочая среда выбирается в зависимости от назначения операции и способа ведения процесса (сухой, мокрый).

В качестве жидкости при виброабразивной обработке используются водные растворы химических соединений с добавками моющих, травильных, пенообразующих, пассивирующих и других веществ. Рабочая жидкость циркулирует через рабочую камеру непрерывно или впрыскивается периодически.

Для вибрационной обработки используются станки и установки, имеющие следующие основные узлы: механизм загрузки-выгрузки деталей и рабочей среды; рабочую камеру; вибратор; станину-основание.

Принципиальная конструктивная схема вибрационной установки ВМИ-1004А показана на рис. 7.

Станина 1 опирается амортизаторами 3 на деревянное основание 2. На станине смонтированы цилиндрические и С-образные пружины, на которые опирается вибрационная платформа 5 с инерционным вибратором, состоящим из вала 4 и четырех пар дебалансов. На верхней плоскости виброплатформы закреплен рабочий резервуар 6 со сменным экраном-вставкой 12. Вал вибратора соединен гибкой муфтой 7 с выходным валом трехступенчатой коробки передач 8, на которой установлена плита с электродвигателем. В л электродвигателя приводит в движение входной вал коробки передач через клиноременную передачу 10. Установка закрыта кожухом 11. Резервуар 6 соединен с отстойником 15 трубопроводами 13 (нагнетательным) и 14 (сливным). Основание 2 выполнено из массивных дубовых брусков в виде рамы. На верхней плоскости рамы закреплены стальные чашки для свободной установки в них амортизаторов 3.

Станина 1 представляет собой чугунную плиту массой 2800 кг с приливами для закрепления на них опорных пружин и цапф. Большая масса плиты необходима для обеспечения устойчивой работы установки на всех режимах.

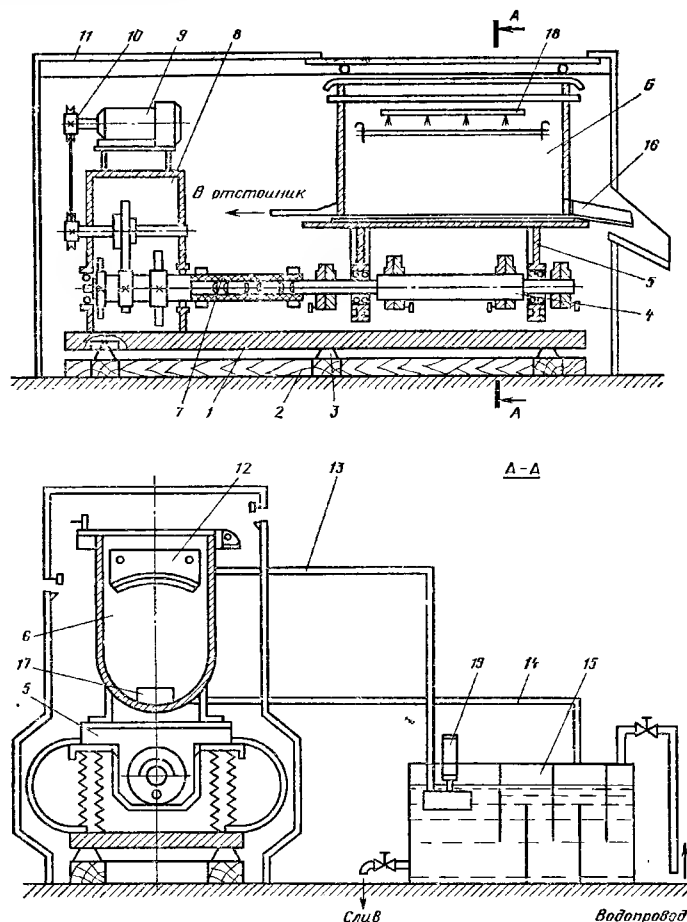


Рис. 7. Конструктивная схема вибрационной установки ВМН-1004А

Наличие деревянного основания с резиновыми амортизаторами и массивной станины позволяет устанавливать вибромашину ВМН-1004А непосредственно на полу цеха без фундамента, дополнительных креплений и исключает передачу вибрации стоящему рядом оборудованию.

Резервуар 6 изготавливается из коррозионно-стойкой листовой стали и имеет

U-образную форму. В боковой его стенке имеется разгрузочный люк с быстродействующим замком и лючок 16, а внутри — сливная воронка с решеткой 17, через которую производится слив отработанного раствора в отстойник 15. Сверху резервуар закрыт крышкой. При выполнении грубых очистных операций в верхнюю часть резервуара ставится экран-

экран 12. Рабочий раствор подается в резервуар вибрационной установки электронасосом 19. Для подачи раствора при обработке деталей в условиях непрерывной циркуляции жидкости в верхней части резервуара имеется дождевальное устройство 18.

Вибромашина ВМН-1004А повышает производительность на очистных операциях в 2—3 раза в сравнении с существующими аналогичными установками, позволяет применять химически активные и агрессивные растворы, полностью использовать объем резервуара на отделочных операциях.

На рис. 8 представлена рабочая камера вибрационного станка ВУ-200. Она состоит из U-образного в сечении резервуара 1 прямоугольной формы, крышки 2, разгрузочного люка 3, приемного лотка 4, люка 5 для отвода жидкости, ребер жесткости 6, бобышек 7. Внутренняя часть рабочей камеры облицована износостойким материалом.

Изменение формы сечения рабочей камеры путем скругления одной из ее стенок способствует ускорению процесса обработки, так как исключаются дополнительные завихрения в верхней части камеры.

Гидроабразивная обработка поверхности металла осуществляется

в специальных установках, в которых гидроабразивная смесь, увлекаемая сжатым воздухом, с большой скоростью направляется на очищаемую поверхность детали.

Соотношение абразивного материала и воды (по объему) в гидроабразивной смеси составляет 1 : 2—1 : 6.

Существует несколько типов установок для гидроабразивной обработки, которые по способу доставки абразивной смеси к объекту очистки делят по принципу эжектирования (пневмоэжекторные), выдавливания абразивной смеси сжатым воздухом, подачи абразивной смеси насосом, раздельной подачи смеси воздуха с песком и водой к соплу.

На рис. 9 показана установка, работа которой основана на принципе эжектирования абразивной смеси. В смеситель 3 заливают воду и абразив при непрерывном вращении мешалки 2. Таким образом, в бункере создается гидроабразивная смесь. Сжатый воздух подается в струйный аппарат 6. В нем создается разрежение, которое обеспечивает подачу абразивной смеси по шлангу 4. Сопло струйного аппарата направлено к поверхности поворотного стола 11.

В смесительной камере струйного аппарата абразивная жидкость сме-

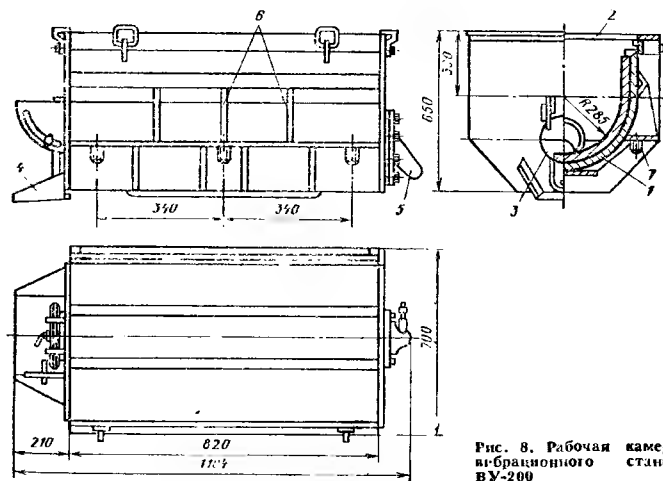


Рис. 8. Рабочая камера вибрационного станка ВУ-200

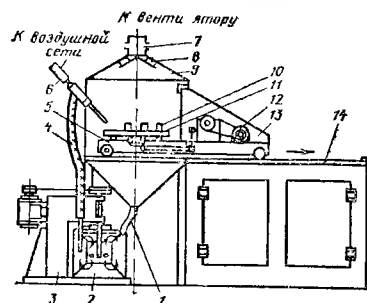


Рис. 9. Гидроабразивная установка, работающая по принципу эжектирования абразивной смеси:

1 — шланг; 2 — мешалка; 3 — смеситель; 4 — засасывающий шланг; 5 — тележка; 6 — струйный аппарат; 7 — отражатель; 9, 13 — камеры; 10 — обрабатываемые детали; 11 — поворотный стол; 12 — электродвигатель; 14 — рельсы

соединяется со сжатым воздухом, сообщая ему дополнительную кинетическую энергию.

Абразивная жидкость захватывается сжимом воздухом и с большой скоростью проходит выходное сопло струйного аппарата, а отработанная жидкость стекает в смеситель 3.

Поворотный стол 11 с деталями 10 устанавливается на специально тележке 5, которая при помощи электродвигателя 12 с редуктором может перемещаться по рельсовому пути в камере.

Эжекторные гидроабразивные установки потребляют значительно меньше энергии на подачу абразивной смеси в струйный аппарат, в результате чего КПД снижается до 10—12%.

На рис. 10 показана схема установки, работающей по принципу выдавливания абразивной смеси сжатым воздухом.

Установка состоит из камеры 8, бака 1, соединяющего ее с абразивной жидкостью, которая подается сжатым воздухом по шлангу к струйному аппарату 12. Жидкость распыляется сжатым воздухом, поступающим к аппарату по шлангу 15. Отработанная жидкость стекает в бункер 3 камеры 8. После использования всей жидкости находящейся в баке, доступ воздуха в бак прекращается и при помощи трехходового крана, и полость бака сообщается с атмосферой.

Клапан 2 под действием жидкости опускается, и жидкость возвращается в бак. Очищаемые детали закрепляются на плите 14 и помещаются специально охватывающего устройства 13.

Рабочая камера освещается рефлектором и 11 и снабжена системой вытяжной вентиляции.

Бак оснащен мешалкой 19, которая вращается от электродвигателя 18 при помощи ременно-шестеренной передачи.

После заполнения бака жидкостью и абразивом в соотношении (по массе) 1:4 клапан 2 поднимается рукояткой 4 с помощью троса и плотно прижимается к седлу, перекрывая абразивный канал. В закрытом положении действует давление 0,5—0,6 МПа.

Установка, работающая по подаче абразивной жидкости,

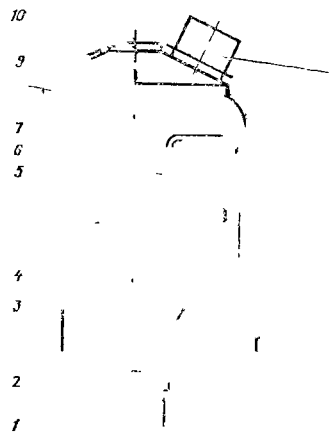


Рис. 10. Установка для выдавливания абразивной смеси:

1 — бак; 2 — клапан; 3 — бункер; 4 — рукоятка; 5 — смотровое окно; 6 — дверь; 7 — окантовка; 8 — камера; 9 — клапан; 10 — вершина; 11 — рельсы; 12 — струйный аппарат; 13 — зажимное устройство; 14 — плита; 15 — шланг; 16 — шланг электродвигателя; 17 — клапан; 18 — электродвигатель; 19 — мешалка

3. Технические характеристики гидроабразивных установок

Параметры	Установка		
	пневмоэжекторная с рабочим столом	работающая по принципу выдавливания абразивной смеси	работающая по принципу подачи абразивной смеси насосом
рабочее давление воздуха, МПа	0,35	0,5—0,6	0,4—0,6
расход воздуха, м³/мин	1,5	0,8—1,0	0,8—1,0
емкость резервуара для рабочей жидкости, л	100	1700	1700
количество компонентов на одну загрузку:			
песка, кг	30	—	—
воды, л	75	—	—
мощность электродвигателя, кВт	0,75—1,0	1,0	2,6
габаритные размеры, м	1,5×3,75×2,2	—	2,1×2,0×2,9

бежным насосом, состоит из двух рабочих камер, в которые помещают защищаемые детали. Через промывочную камеру вода подается насосом в рабочую камеру, а абразивная смесь из смесителя при помощи центробежного насоса — к струйным аппаратам. На выходе из струйного аппарата абразивная смесь подхватывается струей сжатого воздуха и направляется на обрабатываемые детали. Отработанная абразивная смесь и раствор из промывочных камер стекают в сливные бункеры, из которых далее самотеком возвращаются в смеситель.

Для подачи абразивной жидкости из смесителя в рабочую камеру применяют насосы типа С-854 и С-855. Трущиеся части этих насосов изолированы от соприкосновения с абразивной смесью. Это обеспечивает их высокую надежность и позволяет применять повышенную концентрацию абразива в рабочей жидкости и, тем самым, создавая условия для высокой производительности установок.

Наиболее эффективными и экономичными являются установки, работающие по принципу раздельной подачи песка, воды и воздуха к соплу. Эти установки состоят из двухкамерного пескоструйного аппарата и устройства для подачи воды и песка. Давление сжатого воздуха составляет 0,4—0,6 МПа.

Конструкция двухкамерного пескоструйного аппарата позволяет наполнять его песком без прекращения работы.

После выравнивания давления в верхней и нижней камерах открывают

нижний загрузочный конус, и песок поступает в нижнюю камеру. При расходе песка из верхней камеры и в случае необходимости ее наполнения без остановки процесса сжатый воздух подается в нижнюю камеру. Под давлением воздуха закрывается нижний загрузочный конус, и песок поступает из нижней камеры в смеситель и далее по шлангам увлекается воздухом и направляется к соплам.

Сжатый воздух подается в аккумуляторы воды, и вода под давлением по концевой щели попадает в рабочие сопла. Песок поступает в рабочее сопло по центральному каналу. При выходе из сопла струи их смешиваются, и образующаяся смесь воды и песка с большой скоростью направляется на очищаемую поверхность детали.

В процессе обработки можно смыть ошестенный участок от абразива и водной пыли обдувать воздухом.

Интенсивность установок для жидкостно-абразивной обработки зависит от количества абразива в жидкости, расхода и давления сжатого воздуха, а также от угла наклона струи к очищаемой поверхности.

Оптимальный угол наклона струи к очищаемой поверхности составляет 30—60°.

Технические характеристики таких установок приведены в табл. 3.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ВАННЫ

Основным оборудованием в общем процессе гальванопокрытия деталей является стационарная гальваническая ванна. В зависимости от нахо-

ждения в технологической цепи и назначения стационарная ванна может иметь различную форму, размеры и оснащение.

Назначение и конструкция стационарной ванны определяются как общими признаками, присущими всем гальваническим ваннам, так и специфической конкретней операцией, для которой данная ванна предназначена.

Общим для всех стационарных ванн является, как правило, ее прямоугольная форма, одинаковый материал, из которого их изготавливают, т. е. листовая низкоуглеродистая сталь, наличие шпунтов, обеспечивающих слив раствора.

Различие в конструкции стационарных ванн определяется прежде всего характером процесса, для которого применяется данная ванна, составом раствора, его pH, а также особенностями технологического процесса, требующими подогрева или охлаждения электролита, перемешивания, качания шланга, непрерывной фильтрации, наложения различных физических факторов (ультразвук, магнитное поле, приток электролита и т. п.).

В зависимости от состава раствора применяются различные виды футеровочных материалов. Габаритные размеры ванн определяются величиной поверхности одновременно загружаемых деталей и плотностью тока.

Ванны обезжиривания. В подготовке поверхности деталей важное место отводится обезжириванию, при котором удаляются с поверхности металла жиры животного и минерального происхождения, а также различные загрязнения (шлифовальные и полировальные пасты, консервационные смазки и др.), образующиеся на поверхности деталей при изготовлении, хранении и транспортировке.

В зависимости от вида и степени загрязнения выбираются определенные обезжиривающие растворы, а соответственно метод и оборудование.

Обезжиривание проводят непосредственным погружением деталей в ванну с химическим раствором, электрохимически (на аноде и на катоде), струйным способом, в парах органических растворителей.

Детали с высокой степенью загрязнения обычно проходят обезжиривание дважды. Предварительное обезжиривание

ванне предназначено для снятия шлифовальных и полировальных паст, консервационных смазок, масел. Наиболее эффективным методом снятия загрязнений является обработка в органических растворителях.

Обезжиривание непосредственно перед осаждением гальванопокрытия проводится в щелочных растворах.

Кроме указанных способов обезжиривание проводят струйной очисткой, стружением в ванне для отмокания и другими методами.

Основным оборудованием для обезжиривания деталей в гальваническом цехе является стационарная ванна.

Ванна для химического обезжиривания представляет собой прямоугольную емкость (рис. 11), сваренную из низкоуглеродистой стали, которая снабжена вертикальными бортовыми отсосами, змеевиком или теплоэлектронагревателями (ТЭН), барботером или другими устройствами для перемешивания.

В конструкции некоторых ванн в верхней части имеются карманы для удаления жирных загрязнений с поверхности электролита. Дно ванны должно иметь уклон в сторону сливного шпунта для удаления образующихся шламов. В некоторых конструкциях предусматривается для этих же целей в виде вставки двускатного дна. Для удобства загрузки подвешивают детали на ваннах для химического обезжиривания устанавливают шпунты. Ванна снабжена теплоотводом.

Ванны для электрохимического обезжиривания в отличие от ванн для химического обезжиривания дополнены теплообменниками и охлаждающими котлами и а одним или двумя, скотированными на бортах ванны. Шланги устанавливаются на изоляторах.

Процесс электрохимического обезжиривания проводится обычно с редованием анодной и катодной обработки, поэтому у ванн устанавливаются переключатели для ручного или автоматического переключения полярности тока.

Ванна для электрохимического обезжиривания устанавливается на опорных электроизоляторах в соответствии с ГОСТ 19797—80.

Ванны для электрохимического обезжиривания конструкции Минсельхозмаша показаны на рис. 12.

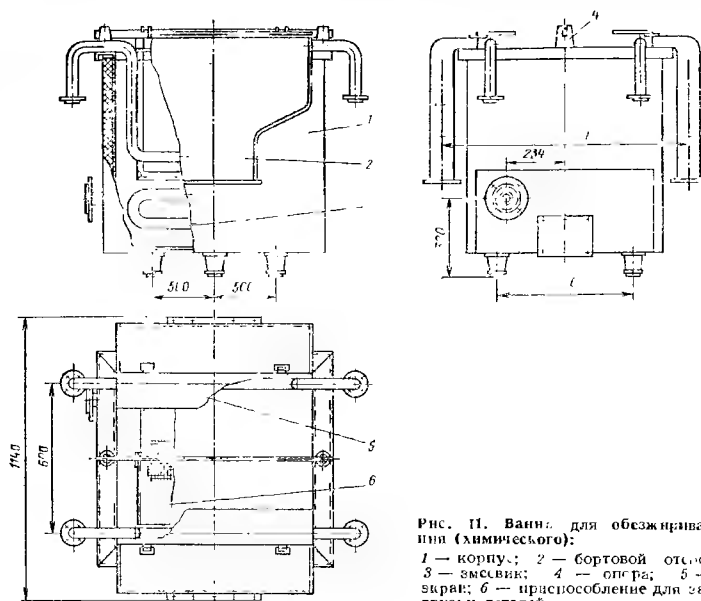


Рис. 11. Ванна для обезжиривания (химического).

1 — корпус; 2 — бортовой отсос; 3 — змеевик; 4 — термометр; 5 — крышка; 6 — приспособление для загрузки деталей

При обезжиривании путем смачивания деталей с загрязнениями применяют стальные сварные баки прямоугольной или цилиндрической формы. Детали монтируют на подвески или укладывают в специальные корзины, а затем загружают в указанные емкости с раствором.

В том случае, если применяются кислотные растворы, ванны футеруют, а нагревательные устройства изготовляют из кислотостойких материалов или футеруют свинцом.

Очистка органическими растворителями может проводиться погружением или в парах растворителя.

На рис. 13 приведена принципиальная схема установки для обезжиривания деталей летучими растворителями. Установка содержит рабочую камеру 1, в нижней части которой расположен нагреватель 2, а в верхней — система конденсаторов 3 для улавливания паров растворителя. В нижней части камеры 1 расположен промежуточный конденсатор 4. Рабочая камера имеет зоны мойки, обез-

жиривания и выпаривания. В верхней части камеры размещен желоб 5 для стока конденсата через трубопровод 6 в сборник 7, снабженный указателем 8. Герметичность камеры обеспечивается крышкой 9. Зона выпаривания камеры 1 соединена с герметичной емкостью 10, выполненной в виде сифона, с помощью трубопровода 11, который смонтирован в камеру непосредственно под нагревателем.

Растворитель находится в емкости 10, и часть его (10—15 %) опускает в зону выпаривания камеры 1 и заполняет ее до уровня трубопровода 11. В конденсаторы 3 и 4 подает хладагент, что обеспечивает уравнивание и конденсацию паров при снятой крышке 9.

Обрабатываемую деталь или корзину с деталями подвешивают к внутренней стороне крышки 9, опускают в рабочую камеру, герметично закрывают крышку. Далее отключают подачу хладагента в камеру 1, а по трубопроводу 12 в емкость 10 подают сжатый газ. Растворитель нагревается

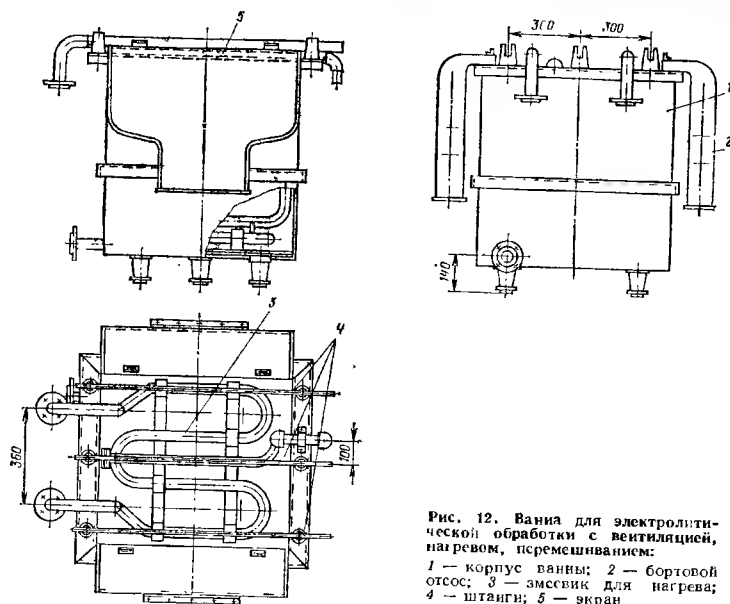


Рис. 12. Ванна для электролитической обработки с вентиляцией, нагревом, перемешиванием:
1 — корпус ванны; 2 — бортовой отсос; 3 — смесник для нагрева; 4 — штанги; 5 — экран

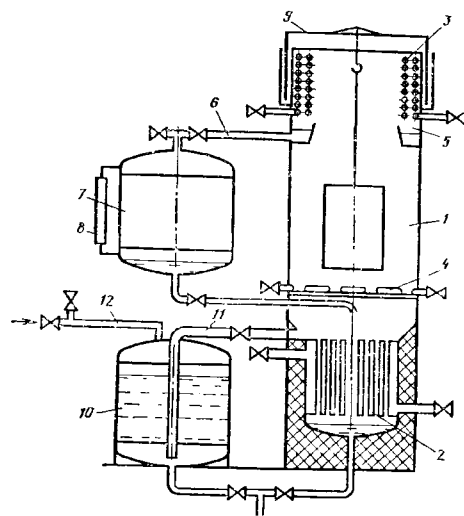


Рис. 13. Схема установки для мойки и обезжиривания деталей летучими растворителями

в камеру I и заполняет весь ее объем. После выдержки изделия в растворе сжатый газ выпускают из емкости 10, которая через трубопровод II заполняется растворителем, поступающим из камеры I. Растворитель, остающийся в зоне выпаривания, при помощи нагревателя 2 разогревают до температуры кипения. Образующиеся пары проникают сквозь щели конденсатора 4, падают на поверхность изделия, где конденсируются, и поступают обратно в зону выпаривания. Часть паров конденсируется в конденсаторе 3 и по желобу 5 створаивается в сборник 7, а затем опять поступает в камеру I.

После выдержки изделия в парах растворителя нагреватель 2 выключают, а в конденсатор 4 подает хладагент. При этом поступление паров в зону обработки изделия прекращается. Камеру открывают, с крышки

снимают баком для моющего раствора. Работа на установке может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Техническая характеристика установки типа УПН-6 приведена ниже:

производительность, кг/ч	100—120
мощность, кВт	11,37
габаритные размеры очищаемых деталей, мм:	
максимальные	40×80×80
минимальные	3,5×3,5×50
количество барабанов	2
частота вращения барабана, об/мин	11
число программ	3
емкость бака, л	200
габаритные размеры установки, мм	796×888×1598
масса, кг	340

Для очистки профилированных деталей средних размеров применяются установки типа МСА-2 (для струйной очистки), технические характеристики которых даны ниже:

	МСА-2	МСА-2У
производительность, кг/ч	100—150	
габаритные размеры очищаемых деталей, мм	80×80×200	Ø 120×200
количество циклов	17	
скорость конвейера, мм/мин	0,105; 0,167	0,212; 0,476
емкость ванны, л	200	330
тип насоса гидросистемы	11-180	П-90
нагрев раствора и воздуха	электрический	
время нагрева раствора до рабочей (50—60 °С) температуры, мин	30	70
оптимальная температура, °С	60—65	50—62
концентрация раствора, %	0,3—0,6	1,0—2,0
габаритные размеры, мм:		
рабочей камеры	1570×755×1800	
бака	800×610×1050	
масса, кг:		
рабочей камеры	800	
бака	160	

снимают обрабатываемые изделия, а затем операции промывки и обезжиривания повторяются. При загрязнении растворителя производят его регенерацию путем выпаривания и конденсации на конденсаторах 3 с последующим удалением масла и других загрязнений из камеры I и емкости 10. Разработаны и изготовлены механизированные моечно-сушильные установки моделей УПН, МСА, КМСУ, предназначенные для очистки деталей растворами синтетических моющих средств.

Установка УПН-6 предназначена для мойки и сушки деталей из черных и цветных металлов. Установка выполнена в виде рабочей камеры сestro-

Конвейерные моечно-сушильные установки комбинированного действия типа КМСУ-4, КМСУ-5, предназначенные для очистки крупногабаритных деталей состоят из следующих основных секций: приводной, трех моечных и замкающей. Детали поочередно проходят операции: загрузку (выгрузку) 0,5—1,0 мин, мойку 3—6 мин, сушку 4—10 мин. Для подогрева моющего раствора в каждом баке установлено шесть электрических нагревательных секций (типа СЭВ-3У) мощностью по 3,75 кВт каждая. Конвейерная сушка деталей производится в сушильной камере при температуре 100—120 °С. Нагрев воздуха электрический. Температура раствора и

воздуха поддерживается автоматически.

Техническая характеристика установок типа КМСУ приведена ниже:

производительность (в зависимости от скорости конвейера), число подвесок в час	31; 46
максимальные габаритные размеры очищаемых деталей, мм	490×280×380
емкость одной моечной секции, л	600
время на г-рва:	
р-створа, ч	1—2
во духа, мин	15—20
скорость конвейера, м/мин	0,40; 0,63
установленная мощность, кВт	111,4
габаритные размеры установки, мм	5410×1400×2650
масса, кг	4500

Ванны травления. Стационарные ванны химического и электрохимического травления отличаются от ванн обезжиривания наличием кислотостойкой футеровки стенок, дна и теплонагревателей.

Ванны травления в зависимости от состава раствора изготавливаются из низкоуглеродистой стали и коррозионно-стойкой марки 12Х18Н10Т. Ванны, изготовленные из низкоуглеродистой стали, футеруются внутри пластиком. Теплонагреватели изготавливаются из стали 12Х18Н10Т или в отдельных случаях применяют сталь 06ХН26МДТ и графит. Барботеры изготавливаются из тех же сталей, а также из полнэтлена.

Ванны химического травления имеют, как правило, одну штангу, которая располагается над ванной, параллельно длинным стенкам, и служит для подвески приспособления с деталями. Ванна устанавливается на стальные опоры.

Ванна электрохимического травления оснащена токоотъемными катодными и анодными планками, которые монтируются на бортах ванны. Ванна устанавливается на электроизоляторах, снабжена бортовыми отсосами и в отдельных случаях откидывающимися крышками.

Ванны промывки. Такие ванны, предназначенные для удаления с деталей и подвески переносимого раствора, устанавливаются после каждой технологической операции. Промывка деталей может производиться непосредственным погружением их в ванну с водной и струйным способом.

Для метода непосредственного погружения используются ванны с непроточной водой (улавливания), с проточной водой, с различными способами перемешивания и без него, а

также ванны многоступенчатой промывки.

Ванны с непроточной водой (улавливания) применяют для улавливания

растворов, содержащих драгоценные металлы, и высокотоксичных растворов (хромовая кислота, цианиды и др.). После ванны с растворами высокотоксичных веществ устанавливается одна ванна непроточной промывки, после ванны серебрения — две, после золочения — три ванны улавливания.

Во всех остальных случаях применяют ванны с проточной водой и перемешиванием. Перемешивание можно осуществлять путем качания штанги и перемещения подвески, подачи проточной воды, ультразвуком, сжатым воздухом.

Наиболее высокое качество промывки достигается путем наложения ультразвука. Этот способ применяется редко, так как он наиболее дорогостоящий, а применяемое ультразвуковое оборудование требует высокой квалификации обслуживающего персонала.

Наиболее эффективным является способ перемешивания воды сжатым воздухом.

Ванна промывки с барботером показана на рис. 14.

Сжатый воздух, очищенный от масла, подается в барботер, который представляет собой «меевик» или изогнутую под 90° трубу, в нижней части которой имеется множество мелких отверстий. Воздух от сети или автономного компрессора подается в барботер с расходом 0,2 л/мин на 1 л воды.

Проток воды в ванне промывки осуществляется путем подачи ее в донную часть ванны и слива через специальные карманы, патрубки или штуцеры, установленные на высоте поддержания уровня воды в ванне.

Ванны для холодной промывки изготавливают из несортовой стали. В зависимости от объема толщина стенок составляет 3—8 мм. Ванна снабжена

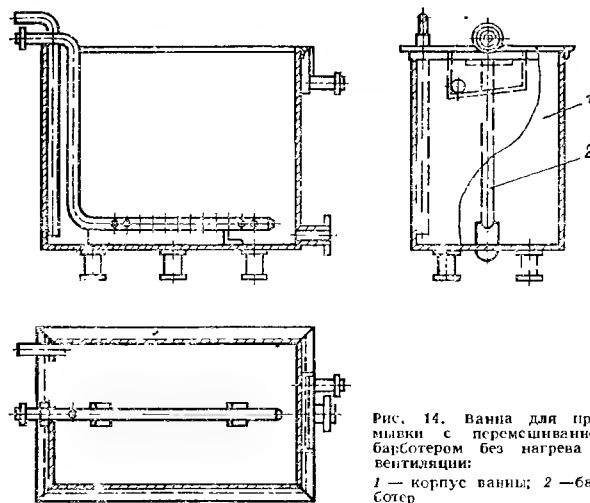


Рис. 14. Ванна для промывки с перемешиванием барботером без нагрева и вентиляции:
1 — корпус ванны; 2 — барботер

переливным и сливным штуцерами. Вода подается через трубу, опущенную в ванну, выходящее отверстие которой устанавливается на расстоянии 50—100 мм от дна.

В ванне монтируется барботер или другое устройство для перемешивания воды.

Ванна для горячей промывки дополнительно оснащена стальным змеевиком для нагрева воды и теплоизоляцией. В том случае, если температура промывки выше 60°C, на ванну устанавливаются бортовые отсосы вытяжной вентиляции. Ванна для горячей промывки показана на рис. 15.

В настоящее время большое распространение получили ванны двух- и трехступенчатой промывки (каскадные). Эти ванны главным образом используются в технологическом цикле автоматических линий. В каскадных ваннах применяется схема проточной и противоточной промывки. При проточной промывке движение воды из ванны в ванну производится в одном направлении с деталями. В схеме противоточной промывки направления движения воды и деталей противоположны. Противоточная схема промывки наиболее экономична и позво-

ляет снизить расход воды более чем в 4 раза.

Конструкция ванны двухкаскадной промывки показана на рис. 16. В ванне трехкаскадной промывки предусмотрены три отсека, разделенных двумя внутренними перегородками.

Ванны каскадной промывки могут быть снабжены футеровкой из пластика, барботером, змеевиком для нагрева в одном из отсеков ванны.

Наиболее высокая эффективность и экономичность достигается методом струйной промывки. Струйный метод промывки обеспечивает ускорение процесса промывки, уменьшает себестоимость, улучшает условия труда, экономит производственную площадь. Этот метод находит все большее распространение при создании новых автоматических гальванических линий.

Ванны для осаждения покрытий. Гальванические ванны, предназначенные для осаждения металла, изготовляют путем сваривания из листовой стали. Для гальванических процессов, протекающих при комнатной температуре, оснащение ванн практически одинаково и мало чем отличается от описанных выше ванн электрохимического обезжиривания.

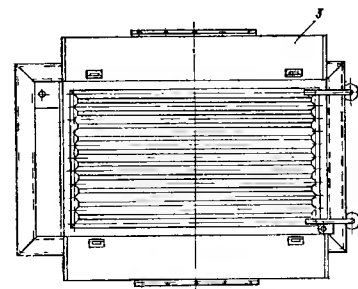
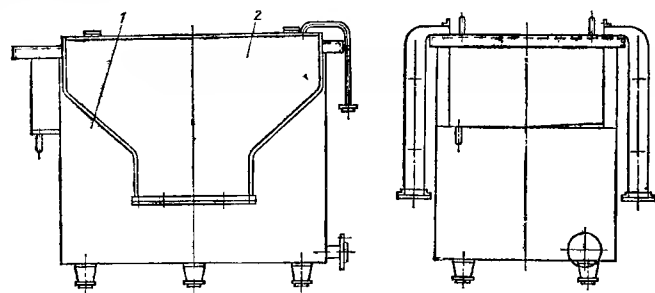


Рис. 15. Ванна для промывки с нагревом и вентиляцией:
1 — корпус ванны; 2, 3 — Сортной отсос

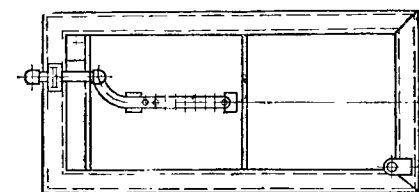
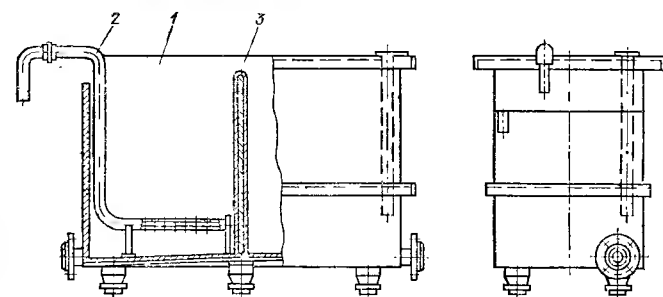


Рис. 16. Ванна двухкаскадной промывки с перемешиванием:
1 — корпус ванны; 2 — барботер; 3 — разделительная перегородка

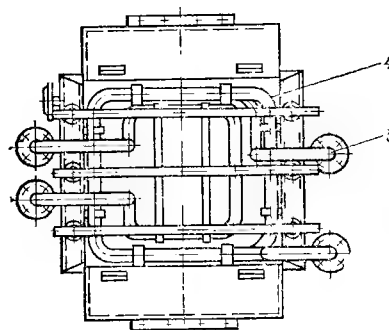
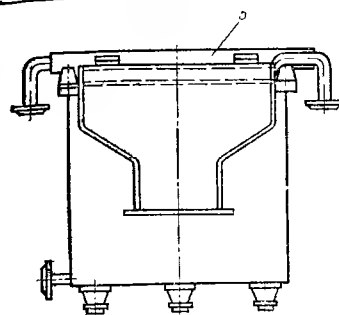


Рис. 17. Ванна электрохимической обработки металлов с вентиляцией и нагревом и охлаждением в дой без перемешивания:
1 — корпус ванны; 2 — барботер; 3 — змеевик для нагрева; 4 — змеевик для охлаждения; 5 — экран

Все эти ванны имеют футеровку, катодные и анодные штанги, шпунцы для заливки и слива, бортовые отсосы вытяжной вентиляции, при необходимости — устройства для перемешивания электролита. В тех случаях, когда процесс протекает с большим выделением теплоты, например, при анодировании алюминия, ванны дополнительно снабжаются змеевиками для охлаждения электролита холодной водой.

Ванна, работающая с подогревом и охлаждением, показана на рис. 17.

Процессы, протекающие при повышенной температуре, проводят в гальванических ваннах, оснащенных дополнительно нагревательными приборами, а также системой термостатирования и поддержания технологической температуры процесса.

В качестве нагревательных устройств чаще всего используются змеевики,

расположенные по дну и боковым стенкам ванны параллельно штангам. Змеевики изготавливают из стали со специальным покрытием, коррозионностойких сталей (12Х18Н10Т, 06ХН28МДТ), титана.

Для процессов, протекающих в электролитах повышенной агрессивности и при повышенной температуре (хромирование, окисление стали и др.), нагрев электролита при водят через пароводяную рубашку или острый паром.

В некоторых ваннах, в основном для небольшого объема электролита, применяют электронагревательные приборы.

При протекании отдельных технологических процессов требуется ванна: нагреть электролит, а затем (чтобы компенсировать выделяющуюся в процессе теплоту) следует электролит охладить (например, при хромировании). В ваннах для таких процессов преду-

4. Основные размеры ванн по ОСТ 2 П65-1 80

Тип ванны	Внутренние размеры, мм		
	длина	ширина	высота
01	630	560	800
02	800	710	800
03	1200	710	800
04	1600	710	800
05	800	710	1000
06	1250	710	1000
07	1600	710	1000
08	1600	1000	1000
09	2500	710	1000
10	2500	1000	1000
11	4000	710	800

смазывается установка системы нагрева и охлаждения. Ванны, работающие с подогревом электролита, оснащены теплоизоляцией.

В табл. 4 приведены основные размеры гальванических ванн, выпускаемых Минстанкинпромом в соответствии с ОСТ 2 П65-1-80.

В табл. 5 приведены размеры ванн, разработанных ЦКБОО при Тамбовском заводе гальванического оборудования.

Кроме приведенных нормализованных гальванических ванн, заводы других министерств также выпускают ванны в соответствии со своими отраслевыми стандартами.

5. Основные размеры ванн

Тип ванны	Внутренние размеры, мм			Рабочий объем, л
	длина	ширина	высота	
01	600	570	800	250
02	800	700	800	400
03	1200	700	800	600
04	1500	700	800	700
05	800	700	1000	570
06	1200	700	1000	800
07	1500	700	1000	1000
08	1500	1000	1000	1300
09	2200	700	1000	1400
10	2200	1000	1000	2000
11	3000	700	1000	2000
12	3000	1000	1000	2700
13	800	400	800	270
14	800	400	1000	350



Рис. 18. Электролитическая ванна с движущейся катодной штангой.

1 — корпус ванны; 2 — электродвигатель с редуктором; 3 — анодные пластины; 4 — катодная штанга.

Наряду с нормализованным гальваническим оборудованием изготавливаются отдельные виды установок с учетом специфики технологических процессов. Так, для процесса никелирования ванна снабжается катодной штангой, обеспечивающей непрерывные возвратно-поступательные движения (рис. 18), а также установкой для непрерывной фильтрации и циркуляции электролита. Процесс глубокого анодирования алюминия ведется при температуре электролита $-5 \div 5^\circ\text{C}$, поэтому охлаждение ведут от холодильной машины; с целью интенсификации процесса и получения специальных свойств покрытия используются ультразвуковые и другие установки.

ФУТЕРОВКА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ВАНН

Футеровка гальванических ванн необходима для защиты электролита от продуктов коррозии металлического оборудования и защиты от коррозии гальванического оборудования и увеличения его долговечности.

Для футеровки гальванических ванн в зависимости от их назначения, характера электролита и температурного режима электролиза используют следующие материалы: свинец, винилпласт, пластикат, полипропилен, резину, диэлектрические метлахские или ке-

рамические плитки, кислотоупорный кирпич и другие специальные материалы.

Свинец обладает наиболее высокой химической и термической стойкостью в растворах H_2SO_4 , H_2CrO_4 , H_2CrO_4 в смеси H_2SO_4 и H_2CrO_4 , а также в сернокислых солях. Свинец применяется для футеровки травильных сернокислотных ванн и является незаменимым материалом для ванны хромирования. В ванне хромирования, работающей при повышенной температуре, применяется свинец в качестве футеровки и анодов. Причем он является единственным материалом, на котором с достаточной скоростью протекает реакция окисления Cr^{3+} , накапливающегося в ванне хромирования, до Cr^{6+} . Поэтому даже в тех случаях, когда в качестве основных анодов в ванне хромирования применяют иногда платинированный титан, необходимы дополнительные аноды из свинца.

Свинец используется для изготовления теплоэлектронагревательных приборов и эжекторов, а также свинцевания этих приборов, изготовленных из стали.

Винилпласт — один из наиболее широко применяемых футеровочных материалов (ГОСТ 9639-71*). Этот материал обладает высокой химической стойкостью в различных агрессивных средах, прочностью и электроизоляцией. Винилпласт стоек практически во всех растворах электролитов, применяемых в гальванотехнике. Большим преимуществом винилпласта является то, что он легко сваривается, формуются и обрабатывается механически. Это позволяет использовать его как самостоятельный конструкционный материал, так и для футеровки ванн.

Основной недостаток винилпласта, значительно ограничивающий область его применения, — низкая термостойкость. Винилпласт рекомендуется использовать до температуры 50°C . При 60°C винилпласт размягчается.

Пластикат является продуктом хлорвинилового смолы. В отличие от винилпласта пластикат обладает большей пластичностью и лучшими механическими свойствами. Пластикат очень плотно прилегает к поверхности ванны. Это свойство позволяет проводить нагрев ванны через пароводяную ру-

башку с изолирующими тепловыми потерями. В настоящее время большинство ванн, серийно выпускаемых Тамбовским заводом гальванического оборудования, футеруется пластикатом. Термостойкость пластика несколько выше, чем у винилпласта.

Полипропилен — наиболее перспективный материал, обладающий высокой химической стойкостью, износостойкостью и термостойкостью. Он широко применяется для изготовления гальванических барабанов. Технические и технологические характеристики полипропилена описаны на с. 135.

Резина применяется в качестве футеровочного материала в соответствии с ТУ 38105 1082-76. Резиновая футеровка обладает высокой химической стойкостью в растворах H_2SO_4 (до 60%), HCl (до 10%) и практически любой концентрации CH_3COOH и H_3PO_4 . Химическая стойкость резины в указанных растворах до температуры 100°C весьма высока.

Подготовка под гуммирование поверхности ванны предусматривает следующие операции: обезжиривание поверхности ванны в соответствии с ГОСТ 443-76; обработку поверхности чугунной кислотой дробью по ГОСТ 11964-61Е или шлифзерном по ГОСТ 3047-80.

Допускается очистка металлическими щетками.

На подготовленную к гуммированию поверхность наносят термостойкий клей с концентрацией 1:10-1:15, после чего в течение 15-30 мин производится сушка. Затем наносится второй слой клея с концентрацией 1:6-1:9 с последующей сушкой в течение 30-60 мин. По термостойкому клею после сушки наносят один или два слоя клея 4508 (ТУ 38105 480-72) с концентрацией 1:10-1:20. Далее предварительно раскрошенную резину смачивают бензином и накладывают на подготовленную поверхность ванны.

Вулканизацию производят открытым способом с помощью пара, горячей воды или раствора хлористого кальция. В ванне устанавливаются паровые эжекторы на расстоянии не менее 300 мм от стенок.

Дефекты гуммированного слоя в процессе эксплуатации легко устраняются путем последовательного подклеивания

термостойким клесм и клесм по ТУ 38105 480—72.

Для травяных растворов и кислот электролитов, не содержащих плавиковой кислоты, в качестве футеровочных материалов применяют диэлазобные метлахские плитки ГОСТ 6787—80, керамические плитки (ГОСТ 961—79), кислотоупорный кирпич и другие материалы.

Для крепления плиток к корпусу ванны применяют кислотоупорный цемент.

При футеровке ванн работающих без подогрева, рекомендуется применять метлахские плитки с гидроизолирующей из полиизобутилена или битумбуеронда; для ванн с подогревом — утолщенную кислотоупорную керамику, кирпич и т. п.

Перечисленные футеровочные материалы выпускаются отечественной промышленностью.

Универсальным материалом для изготовления гальванических ванн является титан, обладающий высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах. Срок службы титановых ванн в 5—7 раз больше, чем стальных. Высокая коррозионная стойкость и физико-механические характеристики титана позволяют уменьшить толщину стенок ванны более чем в 2 раза. Поэтому стоимость титановых и стальных футерованных ванн практически одинаковая.

КОЛОКОЛЬНЫЕ И БАРАБАНЫЕ ВАННЫ

Нанесение гальванических покрытий на мелкие детали производится в ваннах барабанного и колокольного типа. Эти ванны представляют собой устройства, как правило, имеющие форму многогранной призмы. Каждая грань призмы имеет перфорацию. Детали в эти ванны загружаются насыпью, и все устройство погружается в ванну с электролитом. Специальный привод обеспечивает вращение барабана или колокола. Детали, занимающие часть объема, находятся в непрерывном движении вместе с барабаном. Осаждение покрытия происходит в основном на детали, которые в данный момент расположены по периметру барабана или колокола, а так как идет постоянное перемешивание деталей, то посте-

пенно они покрываются осаждаемым металлом.

Колокольные ванны подразделяют на два вида: стационарный колокол и наливного типа; стационарная колокольная ванна погружного типа.

Стационарный колокол представляет собой коническую емкость, изготовленную из различных неметаллических материалов, или металлическую, футерованную внутри емкостью (рис. 19).

Колокольные ванны удобны при нанесении покрытий на небольшие партии мелких деталей. В дне колокола устанавливаются специальные устройства, являющиеся катодными контактами. Анод вводится в электролит через верхнюю открытую часть колокола.

Колокол устанавливается на специальной станине, имеющей привод для его вращения и поворотное устройство.

Преимущества колокола наливного типа — надежность конструкции и компактность установки, интенсификация производственных площадей, отсутствие подвода специальных коммуникаций (что позволяет легко перемещать установку в нужное место). Главные недостатки таких установок — малая емкость, невозможность обновления электролита, небольшая одновременно покрываемая поверхность деталей (покрываются детали, находящиеся в данный момент на поверхности, параллельной зеркалу электролита), ограниченность анодной поверхности.

Эти недостатки обуславливают низкую объемную и катодную плотность тока, а соответственно и низкую производительность процесса.

Технологические недостатки стационарного колокола в значительной мере устранены в конструкции стационарной колокольной ванны погружного типа (рис. 20). Этот тип колокола всегда изготавливается из неметаллического материала. Грани колокола имеют перфорацию, что значительно увеличивает одновременно покрываемую поверхность деталей. Колокол при работе погружается в емкость, где содержится электролит, аноды, устройства для нагрева или охлаждения. Вспомогательная емкость снабжена системой вытяжной вентиляции.

Сочетание колокола с дополнительной емкостью позволяет использовать

необходимую площадь анодов, тем самым обеспечивая стабильность состава электролита, активное состояние анодной поверхности, возможность пропуска большого тока, а следовательно, и поддержания высокой катодной плотности тока.

Катодный токоподвод осуществляется путем введения в колокол гибкой металлической шины с утолщениями в месте контакта с деталями. Большая часть шины по длине изолируется для уменьшения потери осаждаемого металла.

Детали в колокол загружаются в зависимости от его конструкции: через верхнюю открытую горловину или специально предусмотренное устройство в боковой грани.

В промышленности применяются колокола погружного типа вместимостью от 0,05 л для золочения, серебрения и других процессов в приборном производстве до 25—30 л, что соответствует массе загруженных деталей от нескольких десятков граммов до 30—50 кг.

Тамбовским заводом гальванического оборудования освоен серийный выпуск колокольной ванны модели ВК-40 (рис. 21). Она предназначена для нанесения практически всех покрытий на мелкие детали, загружаемые насыпью, кроме хрома, драгоценных металлов и отдельных специальных покрытий.

Установка содержит емкость для электролита, погружной поворотный колокол, лотки для загрузки-выгрузки деталей, нагревательно-охлаждающие элементы или их совокупность.

Ванна футерована пластиком, оборудована анодными штангами. Температура электролита не выше 50 °С. В комплект входит выпрямитель ВАКР 320-18.

Основные данные установки ВК-40 следующие:

объем колокола, л	40
наибольшая загрузка колокола:	
по объему, л	12
по массе, кг	25
диаметр перфорации, мм	3
объем ванны, л	370
габаритные размеры ванны, мм	1865 × 912 × 1200
масса (без учета массы растворов в выпрямителе), кг	260
частота вращения, об/мин	8—10



Рис. 19. Стационарный колокол: 1 — станина; 2 — колокол; 3 — поворотное устройство; 4 — подвод анода



Рис. 20. Колокольная ванна: 1 — корпус ванны; 2 — погружной колокол; 3 — лоток для загрузки и выгрузки деталей; 4 — анодная штанга; 5 — электродвигатель

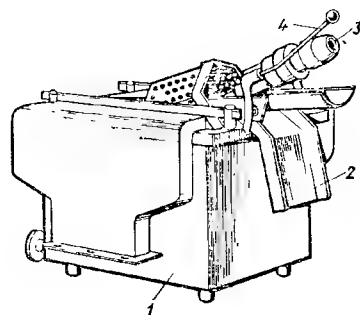


Рис. 21. Колокольная ванна типа ВК-40: 1 — корпус ванны; 2 — лоток; 3 — электродвигатель для вращения колокола; 4 — ручка для подъема и опускания колокола

Технические характеристики выпускаемых колокольных ванн представлены в табл. 6.

Колокола погружного типа широко используются в автоматизированных гальванических линиях с жестким циклом.

Барабанные ванны (барабаны) представляют собой 6—8-гранную сварную или сборную призму, изготовленную из неметаллических, кислотоупорных материалов; они предназначены для нанесения гальванических покрытий на мелкие партии деталей. Загрузка и выгрузка деталей осуществляется через боковую грань барабана.

Все боковые грани барабана перфорированы. В торцевой стенке барабана

имеется зубчатое колесо, изготовленное, как правило, из того же материала, что и барабан, или другого неметаллического материала. Гибкие катоды вводятся через осевые отверстия торцевых стенок барабана. Барабан закрепляется на специальной раме или непосредственно на токосъемных подвесных контактах. Вся система заводится на катодную штангу гальванической ванны таким образом, чтобы зубчатое колесо барабана соприкасалось с зубчатым колесом привода вращения. Вращение барабана осуществляется от двигателя постоянного тока, питаемого от источника тока гальванической ванны.

В табл. 7 приведены технические характеристики ванн с барабанами.

В гальванических цехах при мелкосерийном производстве широко используются переносные барабанные ванны. В такой конструкции на одной раме смонтированы барабан, двигатель с редуктором, обеспечивающий вращение барабана, и токосъемные подвесные контакты. Эти установки удобны в эксплуатации и экономят производственные площади. Техническая характеристика переносного барабана типа БП приведена ниже:

объем барабана, л	2,8
загрузка барабана:	
по объему, л	1,0
по массе, кг	2,8
частота вращения, об/мин	9,6
внутренние размеры барабана, мм:	
длина	250
диаметр	195

В барабане, представленном на рис. 22, можно совмещать операции промывки, сушки и нанесения гальванического покрытия. Барабан сводно

7. Технические характеристики ванн с барабанами

Тип барабанов	Габаритные размеры ванны, мм	Объем электролита, л	Размеры барабана (диаметр × длина), мм	Масса ванны с грузом, кг	Частота вращения барабана, об/мин	Мощность электродвигателя, кВт	Сила тока, А	Напряжение, В
Погружаемые в электролит на 1/2 диаметра:								
шестигранные круглые	550 × 600 × 700	150	230 × 460	1	10—15	0,17	30—40	8—10
шестигранные полукруглые	550 × 600 × 700	150	300 × 450	2	10—15	0,15	50—75	10—12
двухкамерные	970 × 550 × 800	150	270 × 730	30	8—15	0,15	80—200	8—12
трехкамерные	1300 × 620 × 800	550	360 × 1000	60	8—10	0,25	100—250	8—12
С подъемным механизмом и ванной для промывки	900 × 800 × 800	400	500 × 600	40	8—10	0,5	100—150	10—12

насажен на перфорированную полую ось, через которую попеременно в него подается вода, электролит, воздух. Барабан 1 выполнен в виде шестигранника с открывающейся гранью, через которую загружаются и выгружаются детали.

Барабан, загруженный деталями, опорной втулкой 2 и воздухоприемной втулкой 3 опирается на призмы 4 и 5. Вращение звездочки 6 через валик 7 и зубчатые колеса 8 и 9 передается барабану. Воздухоприемная втулка 3 отверстием в нижней части плотно прилегает к штуцеру 10, к которому через электрокалорифер 11 подается скатый воздух. По воздухопроводу 12 и цапфе 13 нагретый скатый воздух поступает в трубу 14 с отверстиями, через которые он попадает во внутрен-

нюю полость барабана и интенсивно обдувает детали.

Обдувка горячим скатым воздухом и вращение барабана способствуют эффективной сушке деталей.

Для нанесения гальванопокрытия одна из опорных призм (со стороны воздухоприемной втулки 3) соединяется с источником питания. Ток через втулку 3, цапфу 13 и трубу 14 передается к контактным дискам и далее через них к деталям.

Воздухоподводящая система барабана (10, 3, 13 и 14) служит для перемешивания раствора внутри барабана холодным скатым воздухом.

Существуют конструкции барабанов с автоматической выгрузкой деталей, а также снабженные механизированными устройствами для загрузки и

6. Технические характеристики колокольных ванн

Тип ванны	Мощность электродвигателя, кВт	Диаметр колокола, мм		Глубина колокола, мм	Объем, л			Сила тока, А, обходящая на одну загрузку деталей	Напряжение, В	Частота вращения колокола, об/мин
		нижний	верхний		колокола	электролита на одну загрузку деталей	одной загрузки деталей			
Переносная	0,1	190	160	190	5	3	0,75—1	3—10	6—8	5—15
	0,15	250	175	260	10	5	1—1,5	5—15		
Стационарная	0,15	300	200	300	15	8	1,5—2	10—20	10—12	5—15
	0,25	450	300	450	50	35—40	10	20—30		
	0,35	500	350	500	70	35—40	15	25—40		
	0,5	600	400	600	120	60—70	15—18	50—75		

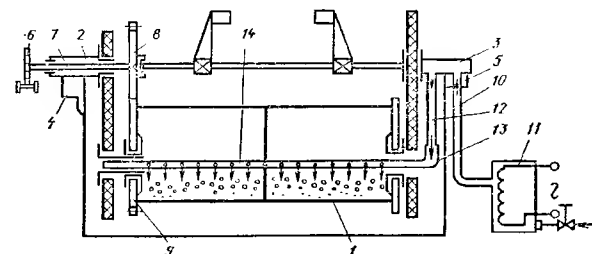


Рис. 22. Схема барабана, позволяющего совмещать операции промывки, сушки и нанесения гальванопокрытия

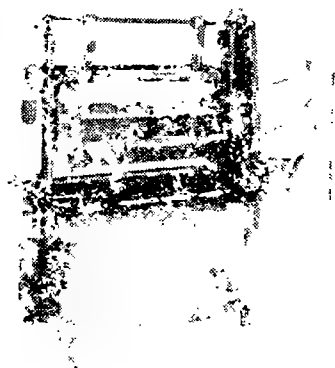


Рис. 23. Ванна с автоматическим управлением барабана:

1 — корпус ванны; 2 — редуктор; 3 — барабан

выпуска барабана в гальваническую ванну (рис. 23, 24).

Важен подбор материала, из которого должен изготавливаться барабан. Для этого используют винипласт, оргстекло, полипропилен. Учитывая, что при работе барабан испытывает существенные механические нагрузки, а также находится в средах различной активности и чувствительности к материалу предъявляю следующие требова-

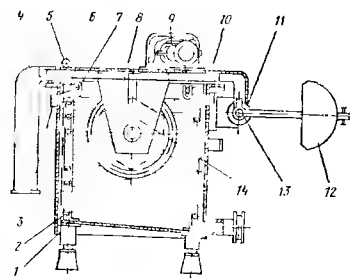


Рис. 24. Ванна барабанная:

1 — корпус ванны; 2 — шестовик; 3 — пульт управления; 4 — бортовой вал; 5 — редуктор; 6 — кронштейн; 7 — вал; 8 — барабан; 9 — привод; 10 — крышка; 11 — ось; 12 — противовес; 13 — валик; 14 — электрод

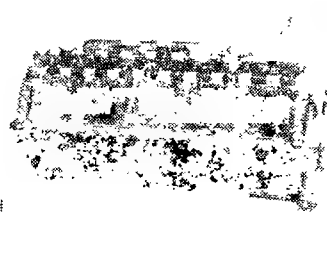


Рис. 25. Барабан сборной конструкции НИИ тракторсельхозмаша:

1 — зубчатое колесо; 2 — модульный элемент; 3 — замок

ния: к его химической стойкости в электролитах, где барабан эксплуатируется; к прочности и износостойчивости; к последствиям контакта материала барабана с электролитом; материал не должен влиять на свойства раствора и получаемых покрытий. Выбранный материал должен иметь максимальную термостойкость.

Оптимальные показатели для производства барабанов из полипропилена. В НИИ тракторсельхозмаша разработана новая сборная конструкция барабана из полипропилена с механическим креплением отдельных его элементов — модулей (рис. 25).

Барабан состоит из отдельных модульных элементов в шестигранную призму, снабженную с торцов зубчатыми колесами для приведения барабана во вращение. Зубчатые колеса барабана являются одновременно его торцевыми стенками, которые при помощи специальных стяжек скрепляются с пластинами, образующими боковые стенки. Крышка барабана имеет замок, запирающийся поворотом одной из стяжек барабана. Снабжен он четырьмя пазами и выступами. Пазы барабана изготовлены с квадратными отверстиями для прохождения электролита и тока, а также шипы на внутренней поверхности, способствующие более интенсивному стеканию электролита. Шипы одновременно улучшают условия гальванохимической обработки деталей.

Все элементы барабана изготавливаются методом литья под давлением.

8. Влияние материала образцов на электрические свойства растворов

Раствор	Удельное сопротивление, Ом·м	Удельная электропроводимость, См/м
Кромирование рабочий	1,3	0,00392
Кромирование контрольный	1,31	0,00359
Электрополирование рабочий	2,82	0,00181
Электрополирование контрольный	2,85	0,00179
Цинкование рабочий	1,52	0,00336
Цинкование контрольный	1,78	0,00287

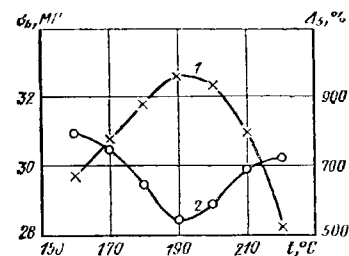


Рис. 26. Зависимость предела прочности при растяжении (σ_B) и относительного удлинения (δ_B) полипропилена при разрыве от температуры расплава:

1 — предел прочности при растяжении; 2 — относительное удлинение при разрыве

Это позволяет создать централизованное промышленное производство барабанов из унифицированных элементов.

Для обеспечения оптимальной прочности конструкции барабана проведены исследования влияния технологических параметров процесса изготовления деталей на прочностные характеристики материала барабана. Кроме того, исследована химическая стойкость полипропилена в различных электролитах для нанесения гальванопокрытий при технологической температуре процесса. Установлено, что во всех исследуемых электролитах в первые две недели происходит некоторое снижение химической стойкости полипропилена, а затем она увеличивается, и через 35 суток стойкость соответствует уровню стойкости до эксплуатации. Такое изменение химической стойкости полипропилена в растворах электролитов связано со структурными превращениями этого материала. Непрерывное понижение химической стойкости полипропилена с последующим лавинообразным разрушением имеет место только в электро-

литов в них в течение 18 месяцев образцов из полипропилена и контрольных электролитов. Контрольные электролиты выдерживались такое же время, что и рабочие, но без образцов полипропилена.

Данные табл. 8 показывают, что длительное экспонирование образцов из полипропилена в агрессивных растворах практически не изменяет их электрических свойств.

Детали барабана в процессе эксплуатации подвергаются в основном растягивающим нагрузкам, поэтому характеристикой прочности элементов барабана могут служить предел прочности при растяжении (σ_B) и относительное удлинение при разрыве (δ_B). Изменение этих величин от температуры расплава полипропилена при литье элементов барабана показано на рис. 26.

Взаимосвязь между сроком эксплуатации детали и его прочностными характеристиками приведена ниже:

предел прочности при растяжении, МПа	23,8	30,6	30,9	31,7	32,3	32,6
время до раскрытия замка пластины, ч	160	328	420	1580	Св. 7800	Св. 7800

лите для электрополирования при температуре 80°C. В этом растворе аналогично ведет себя и винипласт.

Высокая химическая стойкость полипропилена в электролитах для нанесения типовых покрытий дополняется и тем, что он не оказывает влияния на электропроводимость растворов.

В табл. 8 приведены результаты измерения электрических параметров рабочих электролитов после экспониро-

ванности. Сборная конструкция из полипропилена более чем в 25 раз увеличивает срок службы барабана для гальванохимической обработки мелких деталей по сравнению с существующими сварными конструкциями из винипласта, упрощает ремонт барабана, снижает себестоимость его изготовления, повышается производительность.

Ремонт барабана сводится к замене изношенных деталей. Технические ха-

характеристики барабана приведены ниже:

масса барабана, кг	6
масса загружаемых деталей, кг	25
температура, °C	до 90
габаритные размеры, мм	240×600
срок службы	более 5 лет

Подобный барабан серийно выпускается Тамбовским заводом гальванического оборудования.

РАСЧЕТ КОЛОКОЛОВ И БАРАБАНОВ

Расчет колоколов и барабанов сводится к определению объема или массы загружаемых деталей, поверхности загружаемых деталей и их габаритных размеров. Поэтому в том случае, когда уже заданы определенные размеры барабана или колокола, т. е. его вместимость и габаритные размеры определены конструкцией, то расчет объема или массы деталей для одновременной загрузки определяют, исходя из конструктивных размеров оборудования.

В том случае, когда речь идет о проектировании нового оборудования, расчет барабанов и колоколов сводится к определению одновременной загрузки (по объему или массе), годовой производственной программы, цеховых площадей и габаритных размеров остального оборудования, к выбору вида и условий обработки (стационарная ванна, механизированная или автоматизированная линия). При этом необходимо учитывать габаритные размеры ванн, определенные каталогами заводов-изготовителей.

Расчет колоколов. Колокол представляет собой усеченный конус, внутренний объем которого

$$V_{\text{кол}} = (R + r^2 + Rr) \frac{\pi h}{3},$$

где $V_{\text{кол}}$ — объем колокола, м³; R — радиус нижнего основания колокола, м; r — радиус верхнего отверстия колокола, м; h — высота колокола, м.

При проектировании обычно принимают, что $r = (0,7 \div 0,8) R$, $h = 2R$; тогда объем колокола

$$V_{\text{кол}} = 4,6R^3.$$

Объем колокола в зависимости от его геометрических размеров и угла

наклона принимают равным $1,5-2,0$ объема электролита вместе с деталями ($V_{\text{эл}}$):

$$V_{\text{кол}} = (1,5 \div 2) V_{\text{эл}}.$$

Объем электролита вместе с объемом, занимаемым деталями, принимают равным $3-6$ насыпным объемам, занимаемым деталями ($V_{\text{нас}}$):

$$V_{\text{эл}} = (3 \div 6) V_{\text{нас}}.$$

Насыпной объем деталей составляет от $3-10$ объемов загружаемых деталей без учета расстояния между ними:

$$V_{\text{нас}} = (3 \div 10) V_{\text{дет}}.$$

Насыпной объем деталей составляет $10-20\%$ всего объема колокола. Наружные диаметры колокола и объем определяются внутренними размерами и толщиной стенок самого колокола, которые составляют $10-30$ мм.

Расчет барабанов. Единовременная загрузка деталей в барабан определяется с учетом насыпного объема загружаемых деталей и составляет $25-35\%$ объема барабана при электрохимическом осаждении металла и $50-70\%$ объема барабана при химическом осаждении металла.

Объем шестигранного барабана

$$V = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 l = 2,6R^2 l,$$

где V — объем барабана, л; R — радиус описанной окружности, мм; l — длина барабана, мм.

Длина барабана $l = (1,5 \div 3) d_{\text{вн}}$ ($d_{\text{вн}}$ — диаметр вписанной окружности).

Можно считать, что насыпная масса 1 дм³ деталей весит $0,8-2,6$ кг. Площадь поверхности 1 кг деталей в барабане составляет $5-20$ дм². При расчетах обычно принимают, что средняя площадь поверхности 1 кг деталей соответствует 10 дм². Таким образом, площадь поверхности деталей одной загрузки при заданной массе

$$S = mS_1,$$

где S_1 — площадь поверхности 1 кг деталей в барабане, дм², m — масса деталей.

Расчет габаритных размеров ванны под барабаны. Внутренние размеры

9. Механизированные ванны

Тип ванны	Модель	Загрузка по массе, кг	Объем колокола или барабана, л	Рабочий объем ванны, л	Частота вращения колокола или барабана, об/мин	Частота колебания штанги в минуту	Габаритные размеры ванны (длина × ширина × высота), мм	Масса ванны (без раствора), т
Колокольная с качающимися штангами с переносными барабанами	БК-40	20	40	370	6-10	50	1865 × 905 × 1200	0,260
	1703	30	—	1200	—	—	1900 × 1100 × 1100	0,290
	—	3	3	350	6-10	—	1200 × 800 × 700	0,300
	—	30	—	1600	6-12	—	1500 × 1200 × 2300	0,380

* Главный параметр — загрузка деталей по массе.

ванны, в которой обрабатываются детали в барабане, определяются размерами барабана, конструкцией механизма вращения, системой крепления его на ванне.

Внутренняя длина ванны для барабана

$$Z_{\text{вн}} = l_{\text{бар}} + 2l_1,$$

где l_1 — расстояние между торцовыми стенками ванны и барабана, которое зависит от конструкции барабана и составляет $100-200$ мм; $l_{\text{бар}}$ — длина барабана.

Внутренняя ширина ванны при загрузке одного барабана

$$W_{\text{вн}} = D_{\text{нар}} + 2W_1 + 2W_2 + 2D,$$

где W_1 — расстояние между анодом и барабаном, принимается равным $100-200$ мм; W_2 — расстояние между анодом и ближайшей стенкой ванны, принимается равным $50-100$ мм; $D_{\text{нар}}$ — диаметр описанной окружности барабана, определяется расчетным путем; D — толщина анода составляет $5-20$ мм.

Внутренняя высота ванны

$$H_{\text{вн}} = h_3 + h_6 = h_1 + h_2 + h_6 + D_{\text{нар}},$$

где h_3 — расстояние от дна ванны до зеркала электролита; h_6 — расстояние от зеркала электролита до верхнего края бортов ванны, принимается равным $150-300$ мм; h_1 — расстояние от дна ванны до нижнего края барабана (по описанной окружности), составляет $150-300$ мм; h_2 — расстоя-

ние от зеркала ванны до верхней части (по описанной окружности) барабана, составляет $100-200$ мм; $D_{\text{нар}}$ — диаметр описанной окружности барабана.

Основные параметры механизированных ванн, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 9.

ВЕНТИЛЯЦИЯ

Гальванические цеха относятся к категории наиболее вредных производств вследствие запыленности воздуха в подготовительных отделениях механической обработки поверхности поступающих деталей, а также большого количества вредных веществ, опасных для организма человека, выделяющихся при химической и электрохимической обработках. Кроме того большую опасность представляют участки корректировки и раздачи электролитов, а также складские помещения для хранения химикатов.

Для создания нормальных условий труда цеха металлопокрытий обеспечиваются системой приточно-вытяжной вентиляции.

Учитывая специфику труда на отдельных участках гальванического цеха и характер работы, вентиляция может быть местной, общеобменной или смешанной (общеобменной и местной).

Местная вытяжная вентиляция на гальванических ваннах осуществляется при помощи бортовых и панельных отсосов и других устройств,

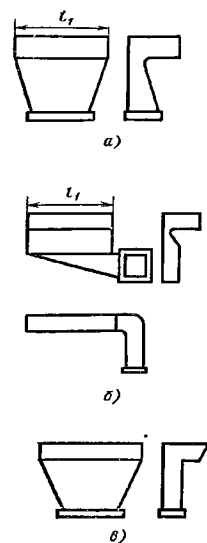


Рис. 27. Бортовые отсосы:

а — простой с выходом вниз; б — простой с выходом в сторону; в — опрокинутый отсос

обеспечивающих отвод вредных веществ с зеркала ванны.

Наиболее распространены щелевые бортовые отсосы, которые устанавливаются непосредственно на бортах гальванической ванны над электролитом. Типы бортовых отсосов, их размеры, конструкция вентиляци-

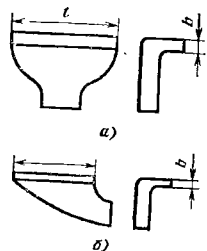


Рис. 28. Бортовые отсосы по нормам ГНЗ-66:

а — простой с выходом вниз; б — простой с выходом в сторону

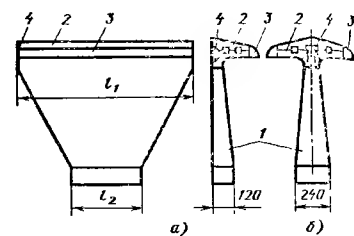


Рис. 29. Секция бортового отсоса:

а — односторонний; б — двусторонний

онных кожухов установлены соответствующими отраслевыми нормами.

ЦКБОГ при Тамбовском заводе гальванического оборудования разработало типаж гальванических автоматов с использованием унифицированных, стандартизованных и нормализованных узлов, в числе которых и бортовые отсосы. Этой организацией разработаны нормы гальванических ванн ОН9-С, в которых приведены основные типы — размеры вентиляционных кожухов.

На рис. 27 приведены бортовые отсосы к ваннам. Это кожухи с трехпещерными секциями, которые устанавливаются вдоль бортов ванны с одной или с двух сторон. Бортовые отсосы этого типа имеют высоту вертикальной щели 100 мм, а размер суженного сечения 40 мм, что обеспечивает равномерное отсасывание по всей длине щели.

При ширине ванны до 1000 мм бортовые отсосы снабжены только вертикальной щелью высотой до 40 мм (отраслевая норма ОНЗ-66) (рис. 28).

Бортовые отсосы устанавливаются по длинным сторонам ванны. При длине ванны до 1000 мм устанавливаются сплошные бортовые отсосы, на более длинные ванны ставят отсосы, выполненные из отдельных секций с самостоятельными отводами в общий выводной канал.

В зависимости от компоновки ванны в длину предусмотрено два вида исполнения секций бортовых отсосов: односторонние и двусторонние (рис. 29). Секция состоит из корпуса 1, съем-

ной крышки 2, козырька 3 и клапана 4. Размеры секций бортовых отсосов приведены ниже (см. рис. 27, 29):

длина щели бортового отсоса l_1 , мм
длина присоединительного патрубка l_2 , мм

400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
240	240	240	320	320	400	400	500	500

Бортовые отсосы по конструкции делают на простые и опрокинутые. В простых отсосах щелевое окно располагается перпендикулярно плоскости зеркала электролита, а в опрокинутых — параллельно зеркалу электролита.

Простые отсосы применяют в ваннах, где расстояние от верхнего ее края до зеркала электролита не превышает 150 мм. При большем расстоянии применяются опрокинутые бортовые отсосы; они более эффективны и при меньшем расстоянии, если электролит обладает высокой токсичностью.

Эффективность бортовых отсосов зависит от многих факторов (конструкции бортового отсоса, объема отсасываемого воздуха и других технико-экономических параметров). Характеристикой эффективности работы бортового отсоса является объем отсасываемого воздуха, который должен быть минимальным.

При ширине ванны более 1,2 м следует применять местную вентиляцию с передувом по системе поддув-отсос. В этих системах создаются при помощи воздушных поддувов струи с одной стороны ванны, которые улавливаются с другой стороны бортовым отсосом, что значительно повышает эффективность всей вентиляционной системы. Схема системы бортовой вентиляции с поддувом приведена на рис. 30.

Объем удаляемого через бортовые отсосы (в м³/ч) воздуха, характеризующий их эффективность, определяется по следующим формулам: для отсосов простых или опрокинутых без поддува

$$V = 1400 \left(0,53 \frac{B'l}{B'l + l} + h \right)^{1/3} \times \times B'IC_1C_{tox}C_2C_3C_4C_5$$

для отсосов, опрокинутых с поддувом,

$$V = 1200B'^{2/3}IC_1C_1$$

Объем воздуха для поддува (в м³/ч)

$$V = 60B'IC_1$$

где B' — расчетная ширина ванны, м; l — длина ванны, м; h — расстояние от зеркала раствора до оси всасывающего отверстия, м; C_1 — коэффициент, учитывающий разность температур раствора и воздуха в помещении, принимаемой по табл. 10; C_{tox} — коэффициент учета токсичности (для отсоса с поддувом $C_{tox} = 1$); значения представлены в табл. 11; C_2 — коэффициент учета конструкции отсоса, равный: 1 — для двубортного без поддува и одностороннего с поддувом, 1,8 — для одностороннего без поддува, 0,5 — для двубортного с поддувом; C_3 — коэффициент, равный 1,2 при воздушном перемешивании; C_4 — коэффициент, равный 0,75 при укрывании зеркала ванны плавающими телами (шарики, линзы); C_5 — коэффициент, равный 0,5 при укрывании зеркала ванны слоем пены.

Бортовые отсосы изготовляют из различных материалов в зависимости от агрессивности растворов. Для неагрессивных растворов (щелочные, минеральные) применяют листовую углеродистую сталь. Для ванн с растворами кислот и агрессивных солей используют винипласт, полипропилен и другие неметаллические материалы органического происхождения.

10. Коэффициент C_1 , учитывающий разность температур раствора и воздуха в помещении

Разность температур раствора и воздуха, °C	C_1 для отсосов	
	без поддува	с поддувом
0	1,0	1,0
10	1,16	1,03
20	1,31	1,06
30	1,47	1,09
40	1,63	1,12
50	1,79	1,15
60	1,94	1,18
70	2,10	1,21
80	2,26	1,24

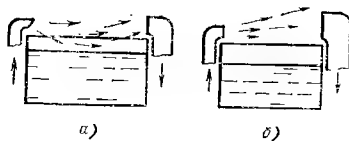


Рис. 30. Схема системы бортовой вентиляции с поддувом:

а — ружья воздуха захватывают вещества с поверхности электролита; б — струя воздуха расположена выше загружаемых деталей и препятствует уносу электролита

Бортовые отсосы соединяются системой воздухопровода. Способы соединения отсосов с воздухопроводом показаны на рис. 31.

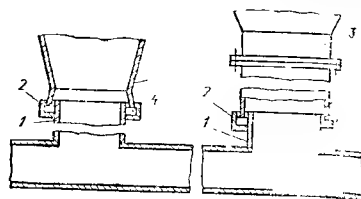


Рис. 31. Соединение секций отсосов воздухопроводом:

1 — патрубок вытяжного воздухопровода; 2 — уплотнение; 3 — патрубок с отсосом; 4 — уплотнение; 5 — промежуточный патрубок

Для системы вытяжных воздухопроводов рекомендуется использовать панельные помещения. Под полом при-

11. Коэффициент токсичности C_{tox} и рекомендуемые типы отсосов

Процесс	Температура, °C	Вредные выделения	Тип отсоса	C
Анодирование в H_2SO_4	15—25	Водород, туман раствора	Бортовой опрокинутый	0,3
Анодирование в $H_2Cr_2O_7$	45	Водород, окислы хрома	То же	0,3
Воронение	135—145	Водород, пары NaOH	»	0,4
Пассивация	18—25	Пары раствора	»	0,3
Кадмирование, цинкование, меднение в цианистом электролите	18—40	Водород, туман раствора	»	0,8
Цинкование и меднение в кислом с воздушным перемешиванием	18—40	То же	»	0,3
Никелирование с воздушным перемешиванием	40	»	»	0,5
Анодное, катодное и химическое обезжиривание в щелочном растворе	60—80	Водород, туман NaOH	»	0,5
Обезжиривание в органическом растворителе	15—25	Пары органического растворителя	Вытяжной шкаф	0
Обработка в растворах хромпика и хромового ангидрида	60—90	Пары хромпика и хромового ангидрида	Бортовой опрокинутый	0
Окислование дюралюминия с воздушным перемешиванием	35—35	Пары оро, дисперсный туман хромового ангидрида	То же	1
Окислование дюралюминия	18	Пары HNO_3 и $H_2Cr_2O_7$	»	0,9
Горячая окисловка магнитных сплавов	70—80	Туман $H_2Cr_2O_7$ и HNO_3	»	1,0
Промывка в мыльном растворе анодированных листов	0—9	То же	»	0
Пассивирование	18—20	Пары хромпика	»	0,8
Травление медных и латунных сталей	18—25	Окислы азота и серы	Бортовой опрокинутый или вытяжной шкаф	1
Химическое травление стали	25—35	Пары HCl	Бортовой опрокинутый	0
Травление в растворе фтористоводородной кислоты	15—26	Пары фтористоводородной кислоты	То же	0,5
Фторирование	95—9	Пары раствора и воды	Бортовой опрокинутый	0,8
Хромирование	40—60	Водород (обильно) дисперсный туман CrO_3	То же	1,3
Электрополирование	25—70	Водород, пары H_2SO_4 , H_3PO_4 , $K_2Cr_2O_7$	»	1,0

кладываются каналы, которые должны иметь уклон в сторону движения воздуха для стекания образующегося конденсата. Конденсат собирается в специальный сборник. Схема типового подпольного канала показана на рис. 32. Вытяжной вентиляционный канал изготавливают из бетона и красного кирпича, штукатурят цементным раствором и перекрывают железобетонными плитами.

Панельные отсосы. Бортовые отсосы оказывают эффективную защиту при работе гальванической ванны, но малоэффективны при выгрузке деталей, так как при поднятии подвески над ванной проходит выделение вредных веществ вне зоны действия бортовых отсосов. В этих случаях применяют панельные отсосы, которые представляют собой вентиляционные устройства, устанавливаемые над ванной (столом) на некотором расстоянии и имеющие большое сечение поверхности захвата. Во всасывающей плоскости устанавливается решетка, которая, уменьшая поверхность захвата на 20—25%, обеспечивает равномерное всасывание по всему сечению. Панельные отсосы могут быть наклонные и вертикальные. Наиболее эффективны наклонные панели. На рис. 33 показана наклонная панель равномерного всасывания. Удельный расход отсасываемого воздуха на 1 м² при использовании наклонных панелей составляет 3200 м³/(ч·м²), если панель расположена у стены, и 5000—7000 м³/(ч·м²), если панель удалена от стены. Для вертикальных панелей расход воздуха увеличивается на 25%.

Панельные отсосы устанавливают обычно над травильными и другими ваннами с горячим токсичным раствором на высоте, при которой подвеска с деталями выдерживается над ванной для стекания раствора.

Вентиляция шлифовально-полировального и гальванического участков. Шлифовально-полировальное оборудование укомплектовано системой автономной вентиляции, которая улавливает пыль, корунд и полировальные пасты. Вентиляционные отсосы на указанном оборудовании выполняются в виде кожухов, охватывающих шлифовальные и полировальные круги. Для улавливания крупных ча-

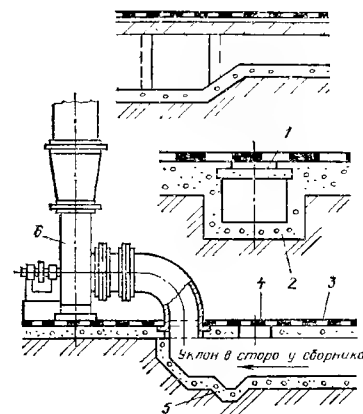


Рис. 32. Типовой подпольный канал: 1 — железобетонная плита; 2 — стол; 3 — металлические плитки; 4 — люк; 5 — сборник; 6 — вентилятор

стиц к кожухам присоединяют пылесборники.

Скорость движения воздуха в воздухопроводах вытяжной вентиляции составляет 10—12 м/с.

При ручной накатке кругов на столах устанавливают двусторонние бортовые отсосы по длинным сторонам стола. Высота щели бортового отсоса составляет 50 мм, скорость воздуха в щели 5—6 м/с (при ширине стола 400—500 мм).

В гальванических барабанах, работающих по сухому способу, отсос наждач-

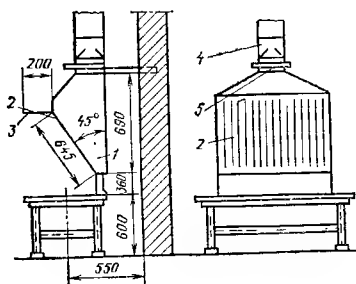


Рис. 33. Наклонная панель равномерного всасывания:

1 — присоски; 2 — всасывающая решетка; 3 — козырек; 4 — воздуховод; 5 — шибер

ной и металлической пыли производят через полую ось барабана. Объем отсасываемого воздуха (в м³/ч) $V = 13000d^3$ (d — диаметр барабана, м). Концентрация пыли в отсасываемом воздухе 500—1500 мг/м³.

Улавливание пыли при сухом полировании на металлических щетках производят местными отсосами. Объем отсасываемого воздуха составляет 2 м³/ч на 1 мм диаметра щетки, но не менее 500 м³/ч на щетку. Концентрация пыли в отсасываемом воздухе 150—200 мг/м³.

Вентиляция вспомогательных участков. Вспомогательными в гальваническом цехе являются участки приготовления растворов, хранения и раздачи химикатов, очистки сточных вод. Участки приготовления растворов и хранения химикатов обеспечиваются вытяжными шкафами с объемом воздуха, отсасываемого через местный отсос, 0,7—1 м³/с. Кроме того, должна быть предусмотрена общеобменная вентиляция. При этом кратность воздухообмена в помещении составляет не менее 3.

В помещениях для очистки сточных вод вытяжная вентиляция выполняется в виде местных отсосов, а также общеобменная с забором воздуха из верхних и нижних зон. Местная вытяжная вентиляция устанавливается у сборных и загрузочных отверстий. Скорость движения воздуха определяется токсичностью содержащихся в нем паров и находится в пределах от 0,3 (для паров воды) до 3 м/с (для соединений циана). При этом от каждой емкости должно отсасываться не менее 300 м³/ч.

Объемы в вентиляции обеспечиваются компенсацию оттока воздуха, уходящего в вытяжную вентиляцию, и приток свежего воздуха. В гальваническом цехе объем приточного воздуха должен быть на 5 % меньше объема вытяжного воздуха. В помещениях с открытыми ваннами, снабженными бортовыми отсосами, рекомендуется постоянная подача приточного воздуха в верхнюю зону. При больших влажностях помещения, например, травильного отделения, 65—70 % приточного воздуха подается в нижнюю зону, а 25—30 % в верхнюю зону. В верхнюю зону подают перегретый

воздух со скоростью 15—18 м/с. Температура перегрева воздуха составляет 30 °С.

Конкретная скорость воздуха в рабочей зоне принимается в соответствии с ГОСТ 12.1.005—76.

Смешанную вентиляцию часто применяют в гальванических цехах. Она состоит из гальванической общеобменной и местной непосредственно на ваннах или установках предварительной подготовки деталей перед покрытием. При работе ванн промывки, на которых отсутствуют бортовые отсосы, значительное количество влаги скапливается в верхней части цеха и конденсируется на строительных конструкциях здания, что приводит к преждевременному выходу их из строя. Кроме того, в крупных цехах над ваннами устанавливаются мостовые краны, обслуживание которых также затруднено. Поэтому общеобменная вентиляция должна обеспечить ассимиляцию влаги и вредных паров вне зоны бортовых отсосов. Местная вентиляция обеспечивает задержание вредных выделений непосредственно на установках.

Вентиляторы. Промышленностью выпускаются различные типы центробежных вентиляторов. С учетом их назначения вентиляторы выпускают низкого, среднего и высокого давления. В зависимости от условий эксплуатации, т. е. среды и помещения их подразделяют на следующие типы: антикоррозионные, используемые для работы с агрессивными средами, такие вентиляторы изготавливают из нержавеющей стали, титана, алюминия, меди, латуни, бронзы, инваров, керамики, композитных материалов, а также из полимеров.

Вентиляторы, используемые для работы с агрессивными средами, изготавливают из нержавеющей стали, титана, алюминия, меди, латуни, бронзы, инваров, керамики, композитных материалов, а также из полимеров. Вентиляторы, используемые для работы с взрывоопасными средами, при одновременном перемещении различных газов, смесь которых может быть взрывоопасной, а также на взрывоопасных производствах, где недопустимо возникновения искры и других факторов, способных вызвать взрыв воздуха и газа с содержанием пыли и мелкодисперсных частиц с концентрацией более 100 мг/м³.

Вентиляторы обычного исполнения применяются для перемещения воздуха или невзрывоопасных газовых

смесей, не вызывающих коррозию углеродистых сталей; они работают при температурах до 80 °С. Вентиляторы могут быть одно- и двустороннего всасывания, а также левого и правого вращения.

Отечественная промышленность выпускает центробежные вентиляторы типа ВРМ низкого давления; марок Ц4-70, Ц9-76, Ц9-57, Ц13-50, Ц6-40, Ц17-40 — среднего давления; типа ВВД — высокого давления. Для отсасывания пыли в пескоструйных и шлифовально-полировальных отделениях применяют пылевые центробежные вентиляторы Ц17-40 и Ц6-46.

В ряде случаев при вытяжке агрессивных газов и паров используют специальные вентиляторы, изготовленными из винилпласта (Ц4-68 № 5 и № 8), коррозионностойкой стали (Ц4-70-16К), титанового сплава (Ц4-70-6,3К) или других кислотостойких материалов. Кожух вентилятора покрывают внутри резиной, полиизобутиленом, асбестовым покрытием, винилпластом и т. п. Турбины и кожухи вентиляторов вытяжной вентиляции, установленные в шкафах промывки в органических растворителях, изготавливают из алюминия. В этом случае применяют взрывобезопасные двигатели. Выпускают вентиляторы из алюминиевых сплавов с повышенной вязкостью от искробразования. Вытяжку из шлифовально-полировальных отделений следует осуществлять с помощью вентиляторов с алюминиевыми роторами во избежание искрения. Вентиляторы комплектуют электродвигателями трехфазного переменного тока, а также взрывобезопасными двигателями.

Для подачи приточного воздуха применяют двух-, трех- и четырехлопастные

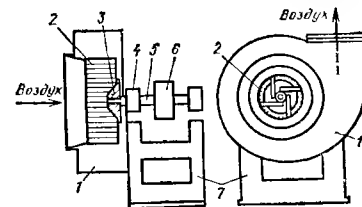


Рис. 34. Устройство центробежного вентилятора

стные вентиляторы. Нагрев воздуха в приточных вентиляционных установках осуществляется калориферами с плотной насадкой пластин (модели ПНМ и ПНВ № 1—6), с облегченными пластинами (модели ОГМ и ОГБ) и калориферами системы КФ, СТД, КМ (ГОСТ 7201—80*). Калориферы рассчитаны на рабочее давление до 0,58 МПа. Они представляют собой снабженные ребрами или пластинами пучки труб, концы которых введены в коробку с фланцевым патрубком.

Центробежный вентилятор (рис. 34) состоит из кожуха 1, прикрепленного к станине 7, и лопастного рабочего колеса 2, насаженного при помощи втулки 3 на вал 5. Вал установлен в подшипниках 4 и снабжен шкивом 6, вращающимся при помощи ременной передачи от шкива электродвигателя. При вращении колеса воздух, поступающий через входное отверстие, под действием центробежной силы отбрасывается от центра к периферии колеса, собирается спиральным кожухом и нагнетается вентилятором в направлении, указанном стрелкой. Вентиляторы могут быть установлены также на одном валу с электродвигателем.

Внедрение в народное хозяйство автоматизированных систем для нанесения гальванических покрытий призвано увеличить выпуск продукции, повысить ее качество, снизить долю ручного труда в гальванических цехах.

Вместо стационарных гальванических ванн все чаще применяют автоматические гальванические линии практически для всех видов гальванических и химических покрытий.

Гальванические автоматические линии — сложные машины, состоящие, как правило, из унифицированных агрегатов и узлов. В зависимости от вида производства, номенклатуры обрабатываемых деталей и серийности они могут иметь принципиально различные конструкции и системы управления.

Классификация автоматических линий для гальванических процессов по способу управления и транспортировки деталей приведена на рис. 1.

КАРЕТОЧНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ С ЖЕСТКИМ ЕДИНИЧНЫМ ЦИКЛОМ

Автоматические гальванические линии (автоматы) жесткого цикла предназначены для работы в цехах с большой производственной программой в условиях массового и серийного производства при наличии стабильной продукции. Эти линии обладают высокой производительностью, надежны в эксплуатации. Их основные недостатки: сложность перехода с одной программы на другую при изменении вида покрытия, его толщины, времени выдержки деталей в ванне, связанного со значительными конструктивными изменениями; значительная длина автоматической линии вследствие установки промывочных ванн после каждой ванны химической или электрохимической обработки, так как транспортирующее устройство не может

совершать возвратно-поступательного движения.

Однако высокая производительность (более 100 м²/ч) делает эти линии наиболее экономичными и перспективными.

В зависимости от транспортирующего устройства автоматы с жестким циклом делятся на кареточно-тележечные и кареточно-бестележечные; в зависимости от схемы расположения ванн — на прямолинейные и оваловые; по принципу загрузки деталей — на подвесочные, барабанные или колокольчатые.

Транспортирующее устройство вместе с деталями совершает прерывистое движение, перемещаясь в заданном темпе от одной позиции к другой. Шаг перемещения строго определен программой и равен расстоянию между двумя соседними позициями. В автоматической линии в соответствии с технологическим процессом устанавливаются одно- и многопозиционные ванны; длина однопозиционной ванны равна шагу перемещения автомата. Для многопозиционных ванн, содержащих две и более позиций, длина определяется как количество позиций, умноженное на шаг перемещения.

Кареточные оваловые автоматические линии представляют собой ряд ванн, установленных по овалу в соответствии с технологической схемой процесса. Между рядами ванн расположены механизмы горизонтального и вертикального перемещения кареток. Каретки служат для перемещения подвесок от одной позиции к другой. Конструктивно каретка представляет собой раму с направляющими роликами, с траверсой и токоподводящей системой. Вертикальное перемещение каретки производится путем подъема и опускания подъемной рамы, а горизонтальное перемещение — толкающими штангами механизма горизонтального перемещения.

Овальная кареточно-тележечная линия состоит из несущей металлоконструкции, выполненной из стоек, секций, опорной рамы, направляющих швеллеров, моста для подъема и опускания кареток с подвесками, механизма горизонтального перемещения, тележки для горизонтального перемещения кареток.

Вертикальное перемещение моста с каретками осуществляется с помощью гидравлического привода. Горизонтальное перемещение тележек с каретками производится от специального механизма, состоящего из системы гидропривода, опоры ведомого вала, системы цепей и реек, зубчатых колес.

Тележка представляет собой раму, которую двигает механизм горизонтального перемещения по направляющим металлоконструкциям. Движение осуществляется при помощи цепей и реек с толкателями. Количество тележек в автоматической линии соответствует количеству позиций всех ванн. Тележка перемещается дискретно, обеспечивая перемещение каретки в подвеске на один шаг.

Каретка с подвеской перемещается от ванны к ванне в соответствии с технологическим циклом. В зависимости от времени той или иной технологической операции в автоматической линии устанавливаются одно- или многопозиционные ванны. Причем количество позиций в многопозиционной ванне может быть от двух до двух-трех десятков и более. Темп движения автоматической линии соответствует минимальному технологическому времени выдержки в однопозиционной ванне.

Однопозиционные ванны в автоматических линиях предназначены, как правило, для подготовительных операций (промывка, травление, активация и т. д.), а также для заключительных операций (пассивирование, уплотнение и др.). Время выдержки деталей в этих ваннах не может превышать темпа выхода подвески с деталями.

В многопозиционных ваннах производятся операции, продолжительность которых (технологическое время) больше темпа выхода подвески с деталями.

Оснащение, устройство и материал ванны определяются видом технологической операции, химическими и электрохимическими особенностями электролита, а также режимами обработки.

Исходя из особенностей технологической операции, конкретная ванна оснащается устройствами для перемешивания и нагрева, анодными или катодными штангами, фильтрующими

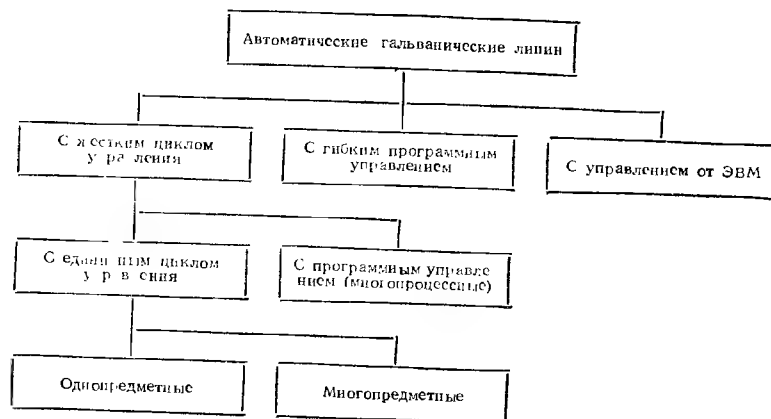


Рис. 1. Классификация автоматических гальванических линий по способу управления и транспортировки деталей

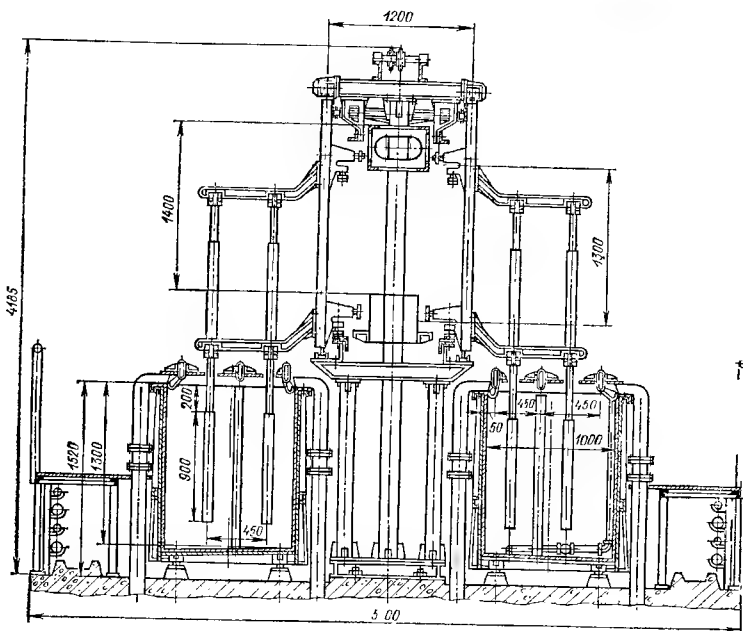


Рис. 2. Типовая овальная кареточная подвесочная автоматическая линия АЛГ-57 (поперечный разрез)

устройствам, сливными карманами, а также выбирается определенная футеровка и теплоизоляция.

Для сушки деталей в автоматической линии предусмотрена сушильная камера, в которой происходит циркуляция горячего воздуха, поступающего от калорифера.

Типовая кареточная линия представлена на рис. 2. Кареточные овальные подвесочные линии отечественного производства широко применяют в промышленности для процессов цинкования, кадмирования, защитно-декоративного анодирования, хромирования крупных и средних деталей на подвесках. Производительность отечественных линий 2—100 м²/ч. Поверхность загрузки на подвеску 30—125 дм². Темп выхода подвески с деталями составляет 1—2 мин.

Габаритные размеры подвесок, мм: 400×150×600, 400×150×900, 400×150×1100, 600×150×1100; шаг меж-

ду подвесками, мм, переменный: 500—700; 700—900.

Кареточно-бестележные автоматы с подъемным мостом показаны на рис. 3. Они могут быть однопроцессными и многопроцессными; их производительность до 120 м²/ч. В автоматах подвеска с деталями не жестко связана с подъемным мостом; причем во время обратного перемещения моста подвеска с деталями остается на бо-
тах ванны.

Горизонтальное и вертикальное движение моста осуществляется при помощи бесконечных цепей с толкателями подвесок, которые перемещают сборки с деталями по сигналу с командооператора на один шаг.

Вместо цепей могут применяться штанги с упорами, совершающие возвратно-поступательное движение.

Привод механизмов перемещения может быть электрическим или гидравлическим.

Автоматическая линия с подъемным мостом представляет собой двухрядную машину овальной формы с замкнутой трассой. В нее входят: ванны; сварная металлоконструкция; механизм подъема и перемещения подвесок; гидравлический агрегат; пульт управления работы всех агрегатов.

Перемещение подвесок с деталями из ванны в ванну производится подъемным мостом по принципу перпендикулярных перемещений, т. е. подвески с деталями поднимаются вертикально вверх на соответствующую высоту, перемещаются горизонтально на один шаг и опускаются в следующую ванну.

В многопозиционных ваннах опускание подвески производится на первую позицию ванны по ходу движения автомата, и только в последней позиции ванны осуществляется подъем подвески и перенос в следующую ванну. Перемещение подвески от позиции к позиции в многопозиционных ваннах производится в нижнем положении при помощи толкателей.

Вертикальный подъем моста осуществляется при помощи гидроцилиндров со штоками. Штоки гидро-

цилиндров цепями соединены с мостом. При подаче масла в гидроцилиндр выдвигается шток, и при помощи цепи мост поднимается в верхнее положение.

В автоматах данного типа применяются подвижные и неподвижные катодные штанги. Подвижные штанги закреплены на раме подъемного моста, а неподвижные — непосредственно на ваннах. Когда мост опущен в нижнее положение, катодные штанги, укрепленные на мосту и на ваннах, совмещаются и образуют единую линию. При подъеме моста укрепленные на нем катодные штанги поднимают прикрепленные к ним подвески с деталями в верхнее положение. Далее мост совершает горизонтальное перемещение на один шаг и опускает подвески в другие ванны. Передвижение подвесок с деталями с одной позиции на другую в многопозиционных ваннах происходит при нижнем положении моста.

Управление автоматической линией производится с пульта. Сигналы с пульта поступают на системы управления гидравлических агрегатов вертикального и горизонтального перемещения

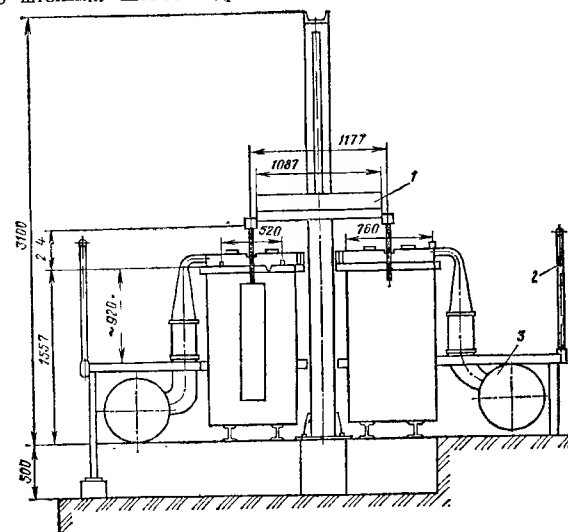


Рис. 3. Автоматическая линия с подъемным мостом: 1 — мост с подвесками; 2 — цепи; 3 — воздуховод вытяжной вентиляции

1. Линии кареточные автоматические

Назначение линии	Модель	Размеры подвесок * (длина X высота), мм	Производительность, м ² /ч	Толщина покрытия, мкм	Темп выхода подвесок, мин	Поверхность загружаемых деталей на подвеску, м ²	Габаритные размеры (длина X ширина X высота), мм	Масса (без раствора), т
Для цинкования (кадмирования) стальных деталей на подвесках	АЦП-5М	400 X 900	30	18	2	1	14 600 X X 6 500 X X 4 300	25,8
	АЛГ-57	600 X 900	75	18	1	1,26	24 600 X X 6 500 X X 4 300	36,9
Для декоративного хромирования деталей из цинкового сплава на подвесках	АЛГ-70	400 X 600	14,5	Cu—8 Ni—18 Cr—1	1,2	0,29	24 200 X X 6 100 X X 3 800	52,2
Для защитно-декоративного хромирования стальных деталей на подвесках	АЛГ-230	400 X 1100	42	Cu—12 Ni—12 Cr—0,5	1	0,7	28 000 X X 6 500 X X 4 700	72,3
Для защитно-декоративного хромирования деталей из цинкового сплава	АЛГ-231	400 X 1100	42	Cu—12 Ni—12 Cr—0,5	1	0,7	28 600 X X 6 500 X X 4 700	68,1
Для защитно-декоративного анодирования деталей из алюминиевых сплавов на подвесках	АЛГ-167	600 X 1100	67,5	—	1,5	1,78	26 300 X X 5 900 X X 4 700	63,4
Для анодирования деталей из алюминиевых сплавов на подвесках	АЛА-6	600 X 1100	42	—	2,5	1	20 600 X X 6 400 X X 4 800	52,3
Для никелирования стальных деталей на подвесках	АЛГ-139	600 X 1100	45	18	1,6	1,2	18 300 X X 5 900 X X 4 600	41,9
Комплексная для цинкования на подвесках	КГ.7302	600 X X 200 X X 800	40—60	9—15	—	—	24 640 X X 6 190 X X 4 370	51,2
Комплексная для фосфатирования	КГ.7374	600 X X 200 X X 800	100	—	—	—	17 200 X X 6 300 X X 4 370	38,6
Комплексная для кадмирования на подвесках	КГ.7302	600 X X 200 X X 800	10—40	9—5	—	—	24 640 X X 6 190 X X 4 370	51,2

* Главный параметр линии — размеры подвесок.

в соответствии с заданной программой. Основные типы отечественных гальванических автоматических линий с жестким циклом и их технические характеристики приведены в табл. 1. Все типы автоматических линий с жестким единичным циклом высокоэффективны, надежны в работе, просты в обслуживании.

Автоматические линии колокольного и барабанного типа. Автоматические линии этих типов широко применяются в промышленности для нанесения гальванических покрытий на мелкие детали, крепеж, а также специальные детали для приборостроения.

Автомат колокольного типа — однорядная машина овальной формы, включающая металлоконструкцию; транспортер с каретками, ванны, механизмы перемещения, подъема, опускания и вращения колоколов.

Металлоконструкция автомата укреплена на фундаменте между рядами ванн. На ней смонтирован транспортер для перемещения колоколов. Транспортер состоит из цепи и закрепленных на ней кареток, на которых смонтированы колокола. Загрузка и

выгрузка колоколов производится на одной загрузочно-разгрузочной площадке, и эти операции могут быть полностью автоматизированы.

Технические характеристики кареточных автоматических линий приведены в табл. 1.

Автоматы барабанного типа (рис. 4) имеют практически то же назначение, что и автоматы колокольного типа (для осаждения цинковых, кадмиевых и некоторых других видов покрытия на мелкие детали).

Автомат состоит из металлоконструкции, механизма подъема и опускания транспортного устройства и тележек, несущих барабаны.

Механическая часть автомата расположена между рядами ванн. Подъемный механизм автомата состоит из тросов, смонтированных на фундаментной раме. На стойках укреплены направляющие, по которым перемещаются транспортные тележки. Тележки приводятся в движение двигателем через зубчатую передачу и управляются концевыми выключателями. Подъем и опускание барабанов осуществляется при помощи поворот-

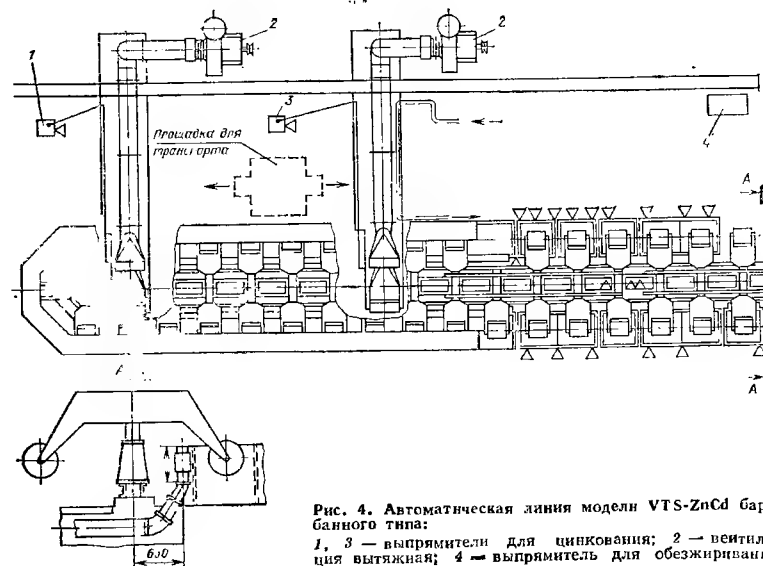


Рис. 4. Автоматическая линия модели VTS-ZnCd барабанного типа:

1, 3 — выпрямители для цинкования; 2 — вытяжная вентиляция; 4 — выпрямитель для обезжиривания

ного механизма, приводимого в движение двигателем через червячную передачу. Привод подъемного механизма приводится в движение путем периодического срабатывания реле времени и системы концевых выключателей. Изменение времени выдержки барабана на различных позициях автомата (время химической или электрохимической обработки, выдержки в положении над ванной и т. д.) осуществляется при помощи реле времени.

Барабан укрепляется в боковых стенках тележки таким образом, что одна его торцовая стенка, являющаяся зубчатым колесом, присоединена к приводу низковольтного двигателя, который также устанавливается на тележке и вращает барабан.

Все ванны автомата снабжены системой вытяжной вентиляции в виде бортовых отсосов. На отдельных автоматических линиях имеется загрузочно-разгрузочное устройство. Автоматы этого типа высокопроизводительны и надежны в работе.

АВТООПЕРАТОРНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Автоматические линии с программным управлением предназначены для химической и электрохимической обработки деталей, смонтированных на подвесках или в барабанах.

Преимущество линий с программным управлением перед автоматами, работающими по жесткому циклу, заключается в том, что они многопроцессны, т. е. представляется возможность обрабатывать детали по различным технологическим схемам и совмещать в единой цепи автоматической линии несколько видов покрытий.

В зависимости от заданной программы автоматические линии с программным управлением позволяют осуществлять перенос деталей из ванны в ванну автономно, а также выдерживать подвеску с деталями на одной позиции ванны необходимое время (по технологии).

Перенос деталей из одной ванны в другую осуществляется автооператорами, которые оснащены автоном-

ными системами, обеспечивающими горизонтальное и вертикальное перемещение подвески или барабана с деталями.

Перенос подвески с деталями производится по заданной технологической схеме в соответствии с программой при помощи сигналов, поступающих с командоаппарата. В большинстве автоматических линий с программным управлением предусмотрена система ручного управления процессом.

Автооператоры делятся на распе-ляемые и нераспе-ляемые. При обработке деталей в ванне распе-ляемый автооператор может отделиться от штанги, несущей подвеску, и переместиться для выполнения соответствующих операций на других позициях, а может оставаться в нижнем положении на время обработки детали в данной ванне.

Автоматические линии с нераспе-ляемым автооператором целесообразно применять в тех случаях, когда технологией предусмотрена непродолжительная выдержка деталей в ванне на всех операциях процесса. Если разница во времени выдержки на различных технологических позициях значительная, то целесообразно использовать линии с распе-ляемыми автооператорами, так как за время выдержки деталей в данной ванне автооператор успевает произвести необходимые перемещения на других позициях автоматической линии, что значительно увеличивает производительность автомата.

Автоматические линии с распе-ляемым автооператором по принципу захвата приспособлений с деталями на штанге делятся на распе-ляемые с верхним и нижним холостым ходом автооператора.

При переносе подвески с деталями в линиях с верхним холостым ходом автооператора совершается следующий цикл движений: перемещение автооператора без подвески в верхнее положение на рабочую позицию (вспомогательный ход), опускание автооператора в нижнее положение и захват штанги с подвеской, подъем в верхнее положение, горизонтальное перемещение с деталями, опускание на позицию и разжим захватов, подъем в верхнее положение, горизонтальное перемещение (вспомогательный ход).

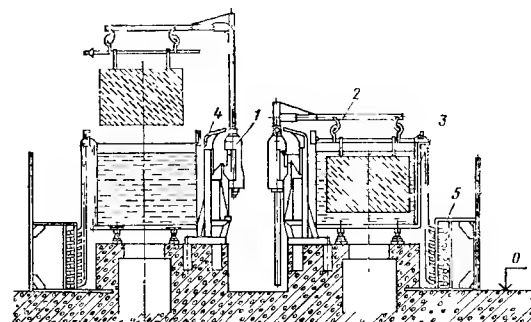


Рис. 5. Автоматическая гальваническая линия с автооператором консольного типа:
1 — автооператор; 2 — консоль с захватами; 3 — ванна покрытия; 4 — станция; 5 — мостки

При такой схеме автооператор оснащен специальным захватом для зажима штанг.

Распе-ляемые автооператоры с нижним вспомогательным ходом совершают следующий цикл движений: горизонтальное перемещение на позицию автооператора без подвески в нижнем положении (вспомогательный ход), подъем вместе с приспособлением и деталями из ванны, горизонтальное перемещение в верхнем положении вместе с деталями до следующей технологической позиции, опускание подвески с деталями в ванну, горизонтальное перемещение без подвески в нижнем положении (вспомогательный ход). В автооператорах с нижним вспомогательным ходом значительно упрощается конструкция захвата штанги с подвеской и уменьшается количество вспомогательных ходов.

Автоматические автооператорные линии могут быть выполнены как с верхним, так и с боковым расположением автооператора.

Линии с программным управлением первоначально предназначались для мелкосерийного производства с большой номенклатурой деталей.

Простота наладки автооператорной линии на различные программы, легкий переход от одного вида покрытия к другому, многопроцессность, универсальность способствовали созданию более совершенных и производительных систем этого типа линий.

В табл. 2 приведены основные типы и технические характеристики автооператорных автоматических гальванических линий, выпускаемых в Советском Союзе.

По способу транспортировки подвесок (барабанов) с деталями все автооператорные линии делятся на четыре группы: консольные (устанавливаемые сбоку от гальванической линии), тельферные, порталные, мостовые. Автооператоры тельферного, порталного и мостового типов устанавливаются над ваннами.

По способу транспортировки деталей тип автоматической линии выбирается в зависимости от планировки цеха массы и габаритных размеров обрабатываемых деталей, производительности и других факторов.

Линии с консольным автооператором. Автооператоры этих линий имеют боковую направляющую, поэтому для их размещения не требуется большой высоты цеха. Однако данные конструкции автооператоров не могут переносить большой груз. Установлено, что консольные автооператоры могут обслуживать ванны длиной ≥ 1600 мм при нагрузке ≥ 250 кг.

На рис. 5 показана автооператорная гальваническая линия с автооператором консольного типа. К этому типу относятся автоматические линии моделей АГ-24, АГ-39, АГ-42.

Преимущества линий с консольным автооператором следующие: высокая

Продолжение табл. 2

Назначение линии	Модель	Внутренние размеры ванны (длина X ширина X высота), мм, для		Площадь деталей, на подвешиваемых линиях в барабанах (м ²)	Производительность, м ² /ч	Толщина покрытия, мкм	Тип электролизной ванны	Темп выхода подвески из барабана, мин	Габаритные размеры (длина X ширина X высота), мм	Масса (без раствора), кг
		электрохимической обработки	химической обработки или промывки							
Для трехслойного покрытия (дуплекс-никель-хром) на подвесках	РКВ20-043	1600X X1120	1600X X800X X630	1,6	8	Св 14 N7 Св 1	T; 400	12	97 000X X2 400X X4 000	21,0
Для твердого хромирования шток на подвесках	АЛГ-316	1500X X1200	1500X X800X X1200	4,5	4,5	50	T; 400	8,17	30 000X X2 900X X4 600	30,5
Для серебрения медных деталей на подвесках и в барабанах	АЛГ-314	1100X X800X X1200	1100X X600X X1200	4,5 (6) 0,8 (н)	17 3	3,15	T; 400	16—23	20 400X X7 600X X1 5	14,8
Для анодирования на подвесках	РКВ20-087	1250X X1120	1250X X800 (630)X X1120	3,3	15	—	T; 200	13	34 000X X2 600X X4 80	24,0
Для защитно-декоративного анодирования деталей из алюминия, валах оправок на подвесках	АЛГ-82М	1500X X800X X1200	1500X X500X X1200	3,6	20	—	T; 400	10,8	18 000X X2 070X X4 600	21
Для анодирования на подвесках	РКВ20-106	1600X X1200X X1120	1600X X800 (630)X X1120	4	20	—	T; 400	12	33 000X X2 800X X5 3	26,3
Для фосфатирования стальных деталей в барабанах и на подвесках	АЛХ-60	1500X X700X X1200	1500X X600X X1200	6 (6) 4,2 (н)	37 32	—	T; 400	11 9,8	95 000X X2 600X X4 600	36
Для фосфатирования на подвесках	РКВ20-103	1250X X900X X1120	1250X X710X X1120	1,8	8	—	T; 200	13,5	1 000X X7 600X X4 600	17,3
Для фосфатирования стальных деталей на подвесках	АЛХ-42	1600X X800X X1200	1500X X700X X1200	5,8	37	—	T; 400	9,4	21 300X X3 000X X4 600	15,5
Для оксидирования на подвесках	РКВ20-097	1250X X900X X1120	1250X X710X X1120	1,8	8	—	T; 400	13,5	95 000X X2 600X X4 000	22,8
Для целочного оксидирования стальных деталей на подвесках	АЛХ-70	—	1500X X1000X X1200	5,3	32	—	T; 400	9,9	27000X X2 800X X4 600	20
Для химического оксидирования крепежных изделий Ø 6—16 мм в барабанах, специальных изделий	АЛХ-67	—	1500X X800X X900	8,5	60	—	T; 400	7	20 000X X3 000X X5 300	23
Для нанесения химических, электрохимических и анодно-оксидных покрытий	АГ-42	1100X X700X X900	1100X X600X X900	—	До 60	—	Консольный; 150	—	До 50 000X X3 300X X4 000	30
Для нанесения химических, электрохимических и анодно-оксидных покрытий	АГ-42	1500X X700X X1200	1500X X600X X1200	—	До 60	—	Консольный; 150	—	До 50 000X X3 300X X4 000	30
Для цинкования стальных деталей в барабанах, валах оправок, комплексная	КГ.1502 001	1500X X600X X1200	1500X X600X X1200	—	До 20	—	T; 40	—	23 300X X3 500X X5 500	—
Для цинкования стальных деталей на подвесках с последующим покрытием или без него, пассивированием и устройством для обслуживания анодных штанг	УГА1	1600X X800X X1250	1500X X630X X1250	—	15	12—1	T; 400	—	33 500X X2 100X X5 350	21
Для цинкования деталей на подвесках, комплексная	КГ.1102 001	3200X X700X X1200	3200X X600X X1200	—	15	15	T; 400	—	25 800X X7 400X X5 20	—

* Главный параметр — внутренние размеры ванны. ** Т — телферный автооператор.

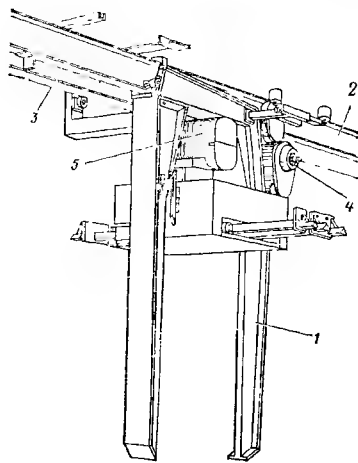


Рис. 6. Тельферный автооператор фирмы «Бласберг» (ФРГ) с боковым опорным рельсом:

1 — захват; 2 — монорельс; 3 — опорный рельс; 4 — двигатель горизонтального перемещения; 5 — двигатель вертикального перемещения

надежность, удобство монтажа и ремонта, возможность установки операторов в помещениях с низкими потолками, их недостаток — ограниченная грузоподъемность.

Линии с тельферными автооператорами. Тельферный автооператор представляет собой тележку с электромеханическими приводами горизонтального и вертикального перемещения. Основание тележки укрепляется на монорельсе, смонтированном на определенной высоте над ванной.

Монорельс крепится к потолку или устанавливается на специальные металлические конструкции, идущие от пола. Для стабилизации движения тельферного автооператора с подвесками в некоторых конструкциях параллельно монорельсу устанавливается боковой опорный рельс (рис. 6).

К тележке в качестве грузоподъемного механизма крепится таль при помощи которой осуществляются вертикальные перемещения сборки с деталями. На тележке смонтированы два электродвигателя в редукторах, пе-

редающие необходимые виды движения автооператору.

Эти линии более стабильны в работе, чем линии с консольным автооператором, и имеют более высокую грузоподъемность.

Центральным конструкторским бюро оборудования гальванопокрытий (ИКБООГ) разработана конструкция автооператора тельферного типа, грузоподъемность которого 500 кг. Фирма «Бласберг» (ФРГ) выпускает аналогичные автооператоры тельферного типа, грузоподъемность которых до 375 кг.

К недостаткам автооператоров этого типа следует отнести недостаточную жесткость конструкции, неудобство монтажа и обслуживания, громоздкость металлоконструкции.

Линии с автооператорами порталного типа. Такие линии наиболее широко применяются в промышленности вследствие простоты конструкции, высокой надежности в работе, наибольшей производительности и грузоподъемности автооператоров, удобства монтажа и обслуживания. Установка автооператоров порталного типа не требует большой высоты цехового помещения.

Автооператор перемещается по специальным опорно-портальным конструкциям, уложенным вдоль бортов ванн, причем они могут быть размещены практически на любой высоте от края ванны.

Автооператор может иметь два механизма подъема с захватами, направляемыми в противоположные стороны, что позволяет одновременно обслуживать две гальванические ванны, укомплектованные темпами работы автомата. При темпе выхода подвески более 4 мин применяют порталные автооператоры с одним механизмом подъема.

Автоматические линии с автооператором порталного типа выпускаются отечественной промышленностью. Основные типы и технические характеристики порталных линий приведены в табл. 2. Эти линии имеют наибольшую производительность и грузоподъемность.

Большой интерес представляют линии подобного типа, выпускаемые фирмами «Шеринг» (ФРГ) и др. Производительность отдельных линий составляет до 150 м²/ч, а одновременно

ная площадь загружаемых деталей на одну подвеску до 8 м².

Автоматические линии с автооператорами мостового типа. Гальванавтоматы подобного типа предназначены для обработки крупногабаритных длинномерных деталей (труб, различных профилей) крупногабаритных отливок и т. д. Эти линии выпускаются различными иностранными фирмами по заказам, так как применение их ограничено.

По принципу компоновки автоматических линий их можно подразделить на прямолинейные (однорядные и двухрядные), овальные, круглые, многорядные и с угловым расположением гальванических ванн.

В зависимости от типа линии загрузка—выгрузка деталей может производиться на одной площадке или с разных сторон автомата (одно- или двусторонние автоматические линии).

Гальванические автооператорные автоматы мостового типа следует также классифицировать по способу загрузки деталей в гальванические ванны: подвесочные, барабанные, колокольные и смешанного типа.

Все перечисленные выше признаки отличия необходимо учитывать при выборе автоматической автооператорной линии.

Эти признаки с учетом производственной программы, типа деталей и вида их обработки, технологии и других факторов являются входными параметрами для расчета циклограммы процесса.

Дуплекс-операторные линии. К существенным недостаткам автооператорных линий прежде всего следует отнести сложность циклограммы, имеющей большое количество вспомогательных, возвратно-поступательных горизонтальных ходов автооператора, что значительно усложняет электрическую схему блока управления и увеличивает технологическое время темпа выхода подвески. Оптимальный ритм работы существующих автооператорных линий составляет 7—8 мин.

В некоторых автооператорных линиях предусматривается сокращение ритма работы автомата за счет уменьшения времени вертикальных перемещений и выдержки над ванной, что приводит к увеличению уноса электро-

лита из ванны, загрязнению последующих ванн и сточных вод. Поэтому такой путь не всегда приемлем.

Использование двухместных автоматических дуплекс-операторных линий (дуплекс-операторов) наиболее целесообразно. Дуплекс-оператор имеет дополнительную каретку с расположенными на ней направляющими вертикального перемещения двух консолей с захватами. Каретка смещается на шаг расположения консолей внутри автооператора таким образом, что свободный левый или правый захват всегда находится по центру автооператора.

Дуплекс-оператор имеет один непереворачиваемый электродвигатель вертикального перемещения и один реверсивный горизонтального перемещения.

Дополнительная каретка, имеющаяся на дуплексе-оператора, попеременно смещается в ту или иную сторону, обеспечивает необходимое время стекания электролита, так как в период погружения необработанной сборки деталей (на подвеске или в барабане) только что извлеченная сборка находится над ванной, куда и стекает электролит. Таким образом, вследствие того, что движение дуплекс-оператора происходит только в одну сторону, значительно упрощается электрическая схема автомата.

Принцип работы дуплекс-оператора заключается в следующем. Дуплекс-оператор с расположенным в нижнем положении свободным захватом, находящимся по оси его симметрии, приходит на позицию, где извлекает из ванны сборку с деталями, после чего происходит смещение каретки в сторону извлеченной сборки; новая сборка оказывается над только что освободившейся ванной и погружается в нее. После такого обмена загруженной оказывается уже другая консоль, находящаяся в противоположном крайнем положении, а среднее положение вновь занимает освободившаяся консоль. Далее дуплекс-оператор перемещается на следующую позицию, где вновь происходит обмен поступивших сборок с деталями.

Таким образом, дуплекс-оператор движется от ванны к ванне по простейшей циклограмме. С пульта управления заранее отключаются или включаются путевые датчики на соответ-

8 Технические характеристики дуплекс-автооператоров различных типов

Параметры	ДАО-50	ДАО-100	ДАО-2
Габаритные размеры, мм:			
высота	2 80	3300	3300
длина	17 0	1470	—
ширина	1225	2120	—
Шаг размещения консолей, мм:	30	400	500
Бермалны ход консолей, мм:			
для подвесок	1087	1385	1385
для барабанов	80	875	875
Средняя скорость горизонтального перемещения, м/мин:			
1 ступени	15	15	15
11 ступени	30	30	30
Предельная скорость горизонтального перемещения, м/мин:			
1 ступени	15	15	15
11 ступени	30	30	30
Средняя продолжительность одного обмена подвески, с	7,5	10	15
Предельная продолжительность одного обмена подвесками, с	15	30	30
Мощность электропривода, кВт:			
подъем подвески	7,5—15	10—29	10—29
горизонтального перемещения	0,6	0,8	—
	0,27	0,27	—

ствующих позициях. Путь, проходимый дуплекс-оператором в течение ритма работы линии, составляет не более 2,2 длины обслуживаемого участка с учетом возврата дуплекс-оператора на исходную позицию. Это в 1,5—2 раза меньше пути односторонних автооператоров, которые расцепляются со сборной деталей.

Среднее время ритма работы дуплекс-операторной линии составляет 3—4 мин. При этом если среднее число обслуживаемых позиций для односторонних автооператорных линий в 1 мин составляет одну позицию, то для дуплекс-операторной — две-три позиции.

Дуплекс-операторные линии целесообразно применять в тех случаях, когда необходимы высокая производительность, позиционная обработка и многопроцессность.

В НИИ тракторсельхозмаше спроектированы дуплекс-операторные линии для цинкования в барабанах и на подвесках; для цинкования и никелирования на подвесках; для износостойкого хромирования деталей гидродвигателей на толщину 18, 24 и 40 мкм; оксидирования фосфатирования, подготовки поверхности деталей в корзинах и другие. Производительность линий в барабанах составляет 200, 500 и 1000 кг/ч.

Дуплекс-операторная линия комплектуется из нормализованных узлов:

ванн, загрузочных и разгрузочных стоек и сушилок, устанавливаемых, как правило, по ходу технологического процесса. В зависимости от технологического процесса и требуемой производительности линии комплектуются в одно- или двухпоточном вариантах.

В зависимости от длины линии подбираются нормализованные узлы, которые соединяются и образуют сплошную металлоконструкцию.

На секциях металлоконструкций предусмотрены платформы для размещения элементов путевого управления, направляющих и реек.

Дуплекс-операторные автоматические линии оснащены сборными барабанами конструкции НИИ тракторсельхозмаша, изготовленными из полипропилена.

Технические характеристики дуплекс-автооператоров приведены в табл. 3.

РАБОТА ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе электролитической обработки металлов, и в частности при нанесении гальванических покрытий происходят потери сотен тонн цен-

ного сырья вследствие испарения электролита с открытой поверхности гальванической ванны и уноса его в вытяжную вентиляционную систему с промышленными водами. Особенно велики потери при крупносерийном и массовом производстве с использованием автоматических гальванических линий.

В настоящее время во многих странах проблему сокращения потерь решают путем создания дисполнительных установок и устройств, входящих в состав автоматических линий или автономных систем регенерации, обслуживающих целиком гальванические отделения или цехи.

Наибольшие сырьевые потери (до 40 %) возникают в процессе хромирования.

Фирма «Бласберг» (ФРГ) разработала установку для регенерации хромосодержащих стоков по методу PS-80, заключающемуся в работе по замкнутому циклу без сброса сточных хромосодержащих вод с регенерацией хромовой кислоты. При этом прежде всего обеспечивается тщательная промывка деталей минимальным количеством воды в каскаде из четырех ванн.

Из первой промывной ванны постоянно отбирается определенное количество раствора и подается через фильтр на катионообменную установку. В этой установке осаждаются катионы железа, свинца и других металлов. Далее раствор подается в конденсатор, а оттуда в испаритель, в котором он охлаждается, и затем возвращается в электролитные ванны.

Отличительной особенностью этой установки является использование теплоты, высвобождающейся в процессе хромирования, на испарение промывной воды.

На рис. 7 представлена схема регенерации никелевого электролита. разработанная фирмой «Шеринг» (ФРГ). Промывная вода из отсека I ванны каскадной промывки подается через фильтр, содержащий активированный уголь, в отсек а емкости, в котором происходит очистка со скоростью 9—10 л/ч. В этот же отсек со скоростью 2—3 л/ч подается из ванны I через фильтр 5 электролит никелирования. Протекая под первой перегородкой, электролит проходит селективную очистку и попадает в отсек б емкости.

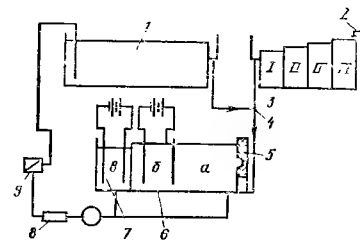


Рис. 7. Схема установки для регенерации никелевого электролита из промышленных вод:

I, II, III, IV — каскады (отсеки) промывки; 1 — никелевая ванна; 2 — ванна селективной очистки; 3 — промывная вода; 4 — трубопровод; 5 — фильтр — активированный уголь; 6 — ванна селективной очистки; 7 — отсек регенерации никеля; 8 — фильтр; 9 — теплообменник.

В отсеке б металлы с более положительным потенциалом осаждаются и частично никель осаждаются при низкой плотности тока на катоды из листовой стали. Далее вследствие каскадной конструкции емкости электролит попадает в отсек 6, где из предварительно очищенного электролита осаждаются некоторое количество никеля на электроде.

Полученный таким образом металлический никель может использоваться в качестве анодов, а электролит, доведенный до рабочей концентрации, подается насосом через фильтр 4 в гальваническую ванну.

Подсчитано, что очистка по данному методу снижает затраты на никелирование до 23 %. Аналогичные установки могут быть использованы для регенерации сточных вод при хромировании, цинковании и меднении.

Безотходная технология в гальваническом производстве не может быть осуществлена без высокоэффективной системы промывки деталей. Поэтому, кроме хорошо известной каскадной промывки, широко используются установки для промывки деталей методом струйного распыления. Этот способ может быть применен для деталей, покрываемых на подвесках и в барабанах. Причем при промывке струйным распылением деталей в барабанах одновременно промываются облицовка барабанов и консоли. Барабан с деталями должен промываться так, чтобы

Загрузка, разгрузка, сушка
Пассивирование (в ванне I)
Пассивирование (в ванне II)
Промывка
Нейтрализация
Электрообезжиривание
Химическое обезжиривание
Промывка
Травление
Декспирование
Промывка
Цинкование

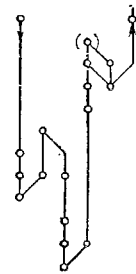


Рис. 8. Циклограмма работы автоматической линии цинкования со струйной промывкой деталей

защитный электролит разбавлялся до концентрации 1/1000, прежде чем он поступит в следующую рабочую ванну. Вследствие высокого качества промывки струйным распылением может быть уменьшено количество промывных ванн и соответственно производственные площади под оборудованием.

Загрузка, выгрузка, сушка
Промывка
Промывка
Промывка
Пассивирование (в ванне I)
Пассивирование (в ванне II)
Промывка
Нейтрализация
Химическое обезжиривание
Промывка
Промывка
Промывка
Электрохимическое обезжиривание
Травление
Промывка
Промывка
Промывка
Декспирование
Промывка
Промывка
Промывка
Цинкование

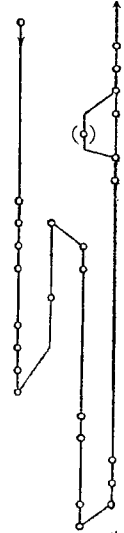


Рис. 9. Циклограмма работы автоматической линии цинкования со стационарной системой промывки деталей

На рис. 8 приведена циклограмма работы автоматической линии цинкования с использованием струйной промывки. В линии установлено две позиции для промывки. При этом расходуется свежей промывной воды 500 л/ч, а длина линии составляет 16,2 м. Для получения аналогичного эффекта по качеству промывки и расходу воды в линии, работающей по циклограмме, представленной на рис. 9, используется 14 промывных ванн, а ее длина составляет 23 м, т. е. на 30 % больше длины линии со струйной промывкой. Кроме того, увеличивается количество автооператоров (с 1 до 2) и барабанов (с 11 до 13).

ПРИБОРЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ОСАЖДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ

Регулирование температуры электролитов. Температурный режим работы гальванической ванны во многом определяет качество и свойства получаемых покрытий. Для его обеспечения отечественная промышленность выпускает различные типы контактных термометров и другие датчики температуры.

Терморегулирование в лабораторных гальванических установках и в производственных ваннах небольшой емкости производится с использованием ртутных контактных термометров. Контактный термометр позволяет устанавливать и поддерживать температуру в гальванической ванне с точностью до $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Настройка термометра производится при помощи винта, вращаемого магнитом. Внутри стеклянной овальной трубки термометра помещена овальная гайка, в которой закреплен вольтфрамовый контакт, входящий своим концом в капилляр. При вращении винта овальная гайка перемещается, увлекая за собой подвижный контакт в капилляре. Необходимая температура устанавливается нижним обрезом гайки и подвижным контактом на соответствующем делении шкалы термометра. При достижении заданной температуры ртутный столбик замыкает электрическую цепь между подвижным и неподвижным контак-

тами, реле срабатывает, и нагревательный элемент отключается. После отключения нагревательного элемента в системе начинается охлаждение. Минус ртутного столбика в капилляре понижается, размыкается цепь контактного термометра, замыкая при этом цепь электронагревателя, и вновь происходит нагрев раствора.

Отечественной промышленностью выпускаются контактные термометры типа ТК-6, ТК-8, ТКМП, ТКМУ и др. Эти термометры имеют пределы регулирования, $^\circ\text{C}$: 0—50, 0—100, 50—150, 100—200, 200—300.

Гарантируемое число замыканий и размыканий контактов термометров при нагрузке $>0,5$ мА и напряжении $>0,3$ В составляет не менее 1 000 000.

Усилительное устройство для контактных термометров типа УКТ-4У2 по принципу действия представляет собой тиристорный выключатель (рис. 10). После подачи питания на устройство при разомкнутых контактах ТК транзистор V8 открыт отрицательным потенциалом, подаваемым на его базу через резистор R1. Генератор, состоящий из однопереходного транзистора V9, резисторов R2, R4, R6 и конденсатора C2, включается в работу и генерирует импульсы с частотой порядка 7,5 кГц. Эти импульсы открывают тиристоры, осуществляя тем самым подключение нагрузки к цепи переменного тока. Контакты ТК при этом находятся под напряжением,

не превышающим величины падения напряжения на переходе база—эмиттер открытого транзистора V8.

При замыкании контактов ТК транзистор V8 закрывается, базовая цепь однопереходного транзистора обесточивается, генератор прекращает свою работу, и тиристор отключает нагрузку от цепи переменного тока. Ток, проходящий через замкнутые контакты ТК, при этом определяется напряжением питания схемы управления и величиной суммы сопротивлений $R1 + R3$ (около 0,2 мА). Питание схемы управления осуществляется от сети переменного тока через выпрямитель на диоде V6, стабилизаторе V7 и сглаживающем конденсаторе C1.

Устройство УКТ-4У2 подает на разомкнутые контакты термометра напряжение не более 0,5 В, а ток, проходящий через замкнутые контакты термометра, не превышает 0,0002 А. Потребляемая мощность не превышает 5 В·А. Устройство имеет габаритные размеры $215 \times 117 \times 67$ и массу 0,8 кг.

На рис. 11 показана схема реле контроля температуры гальванических ванн. Устройство состоит из кожуха 2, закрытого втулкой 1, выполненного из органического стекла. Внутри полости кожуха находится корпус 10, также выполненный из оргстекла. В корпусе параллельно встроены две биметаллические пластины 7, залитые эпоксидной смолой 9. На каждой

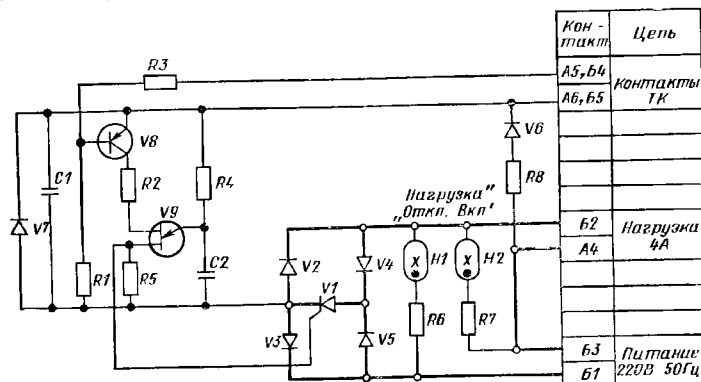


Рис. 10. Принципиальная электрическая схема усилительного устройства УКТ-4У2

1/20 П/р М. А. Шугера, т. 2

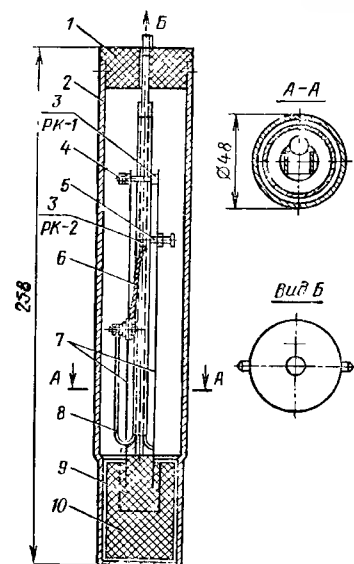


Рис. 11. Реле контроля температуры гальванической ванны

биметаллической пластине имеются винты — верхний 4 и нижний 5, соединенные с контактами 3 (РК-1 — пусковые и РК-2 — отключающие), размещенные на дополнительной пластине 6. Через отверстие во втулке 1 пропущены провода 8, по которым от сети питание через биметаллические пластины подается на контакты.

Реле имеет два рабочих положения. Верхним винтом 4 регулируется первоначальное положение, т. е. нижняя рабочая температура, нижним 5 — верхний температурный предел работы ванны. Так, если нижний температурный предел составляет 56°C, контакты реле замыкнутся и электронагреватель включен; когда температура в ванне повышается, биметаллические пластины начинают деформироваться, расходятся под углом, и при достижении верхнего температурного предела, равного 60°C, контакты реле размыкаются и через пускатель отключают подогрев ванны.

По мере остывания ванны биметаллические пластины выпрямляются и

при достижении нижнего температурного предела приходят в исходное положение, контакты замыкаются, включается подогрев ванны. Для защиты реле от агрессивной среды ванны кожух 2 изготавливают из свинца. Применение реле обеспечивает поддержание температуры ванны с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$.

Автоматическое регулирование температуры ванны, нагреваемых горячей водой, можно производить регулятором прямого действия типа РПД, который представляет собой мембранно-метрическую систему, состоящую из термобаллона, сиффона и соединяющей их капиллярной трубки. Эта система заполняется жидкостью. При этом часть термобаллона заполняется парами жидкости, в результате чего в системе устанавливается давление насыщенных паров жидкости. При нагреве раствора давление насыщенных паров на мембрану увеличивается, мембрана перемещает шток, связанный с клапаном, и клапан перекрывает подачу горячей воды. При охлаждении давление в системе падает, сиффонная мембрана сокращается, увлекая за собой шток, клапан открывается, и вновь поступает горячая вода.

Возможно также автоматическое регулирование температуры при помощи пневматических типа ПРК-1 и электронных систем электронных мостов, которые обеспечивают высокую точность поддержания температуры в ванне при электроннагреве.

Регулирование плотности тока. Плотность тока на ванне пропорциональна току, протекающему через датчик прибора. Этот принцип использован в приборах для регулирования плотности тока.

В простейшем варианте такой прибор представляет собой амперметр постоянного тока, к контактным клеммам которого через подводящие провода подсоединяются две пластины. Одна из пластин имеет поверхность 1 м². Эта пластина опускается в ванну. Другая пластина прижата к катоду ванны. Протекающий через амперметр ток покажет величину плотности тока в той точке ванны, где опущена пластина. Перемещая катодную пластину в различные точки ванны, можно

с определенной погрешностью определять локальную плотность тока. Такое устройство не дает возможности определить среднюю плотность тока на подвеске с деталями.

Для автоматического регулирования электрического режима при хромировании разработан прибор АПГ-2, позволяющий регулировать плотность тока в «прямом» и «обратном» периодах и автоматически следить за работой ванны хромирования в течение всего времени процесса, вплоть до окончания цикла хромирования. Технические характеристики прибора АПГ-2 следующие:

длительность периода обратной полярности, с	30 $\pm$ 1
длительность периода прямой полярности, повторяющихся циклов, мин	15 $\pm$ 1
длительность начального цикла, мин	30 $\pm$ 1
длительность нанесения покрытия, мин	198
длительность нарастания тока, с	30
число циклов	12
напряжение питания преобразователя, В	220
тип генератора, питающего ванну	АНД-2500/5000
полное рабочее сопротивление реостата, Ом	30
размеры блока управления (диаметр $\times$ высота), мм	350 $\times$ 130
размеры силового блока (высота $\times$ ширина $\times$ глубина), мм	650 $\times$ 350 $\times$ 350
масса силового блока, кг	12

Все большее распространение получают бездатчиковые приборы, работающие по методу вольт-амперной характеристики (ВАХ). Одна из таких установок разработана в НИИТавтопроме для ванн, работающих от генератора типа АНД-2500/5000 на 6/12 В. Установка (рис. 12) состоит из магнитного усилителя, настраиваемых резисторов R_1 и R_2 , ограничивающего дросселя L и автотрансформатора Tr .

Обмотки возбуждения генератора питаются от сети переменного тока 220 В через обмотки магнитных усилителей $W1.1$ и $W2.1$, включенных через селеновые выпрямители $V1-V4$. Постоянное напряжение на обмотке возбуждения генератора регулируется с помощью двух обмоток управления магнитного усилителя.

Установка начального напряжения на клеммах ванны производится при отсутствии тока, т. е. до опускания деталей в ванну. Регулирование тока в обмотках смещения осуществляется при помощи автотрансформатора Tr . Чтобы исключить влияние магнитного состояния усилителя на ток в обмотках смещения, в схему введено ограничивающее сопротивление R_2 . При изменении тока в ванне в связи с изменением поверхности деталей меняется напряжение на электродах

ванны. Изменение напряжения осуществляется обратной связью цепи якоря генератора с обмотками обратной связи $W1.2$ и $W2.2$ магнитного усилителя.

Так как обмотки $W1.2$ и $W2.2$ имеют низкое омическое сопротивление, то под действием падения напряжения в катодной шине через них будет проходить ток, обеспечивающий требуемую степень подмагничивания усилителя. Резистор R_1 , включенный в цепь обмоток $W1.2$ и $W2.2$, служит для регулирования тока обратной связи, т. е. степени возрастания питающего напряжения с увеличением тока

в ванне. Дроссель L ограничивает ток высших гармоник, возникающих в контуре обмоток обратной связи.

Настройка прибора производится установкой напряжения на выходе автотрансформатора, питающего обмотки $W1.3$ и $W2.3$, и подбором сопротивлений в обмотках смещения и обратной связи, при которых обеспечивается сила тока на ванне при заданной плотности тока и поверхности загружаемых деталей.

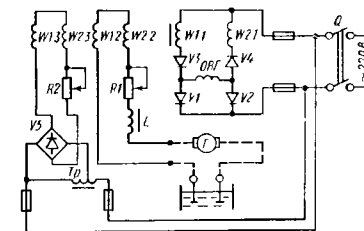


Рис. 12. Схема регулятора плотности тока, работающего по вольт-амперной характеристике:

Г — генератор постоянного тока; ОБГ — обмотка возбуждения генератора; $W1.1$ — $W1.3$, $W2.1$ — $W2.3$ — магнитные усилители; $V1-V4$ — селеновые выпрямители; L — дроссель; Tr — автотрансформатор; Q — пакетный выключатель; $R1-R2$ — регулировочные резисторы

Такая установка может работать в том случае, если переменным является только один параметр — поверхность загрузки, а все остальные в течение всего процесса остаются неизменными.

Принцип вольт-амперных характеристик дает возможность с большой точностью поддерживать плотность тока в процессе осаждения с учетом истинной поверхности загружаемых деталей, но не позволяет поддерживать плотность тока в автоматическом режиме.

Современные выпрямители ВАКГ и ВАКР предусматривают автоматическое поддержание плотности тока при помощи специальных датчиков по методу заданной плотности тока, однако отслеживание ведется только при общих токах на ванне, равных более половины номинальной нагрузки выпрямителя.

ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

К вспомогательному оборудованию относятся фильтровальные установки, насосы для перекачки электролитов, различные емкости для хранения, транспортировки и корректировки растворов.

Фильтровальные установки предназначены для очистки электролитов от различных загрязнений. На рис. 13 показана установка модели 1ХДМ2-0,3Р с дисково-пакетными фильтрами, которая предназначена для осветлительного фильтрования кислот и щелочных растворов с использованием фильтрующих тканей. Осадок смыывается с дисков в специальной ванне без разборки пакетов. В установку 1ХДМ2-0,3Р входят один дисково-пакетный фильтр, насос для подачи продукта на фильтрование, трубопроводы с запорной арматурой и контрольно-измерительные приборы. Установка смонтирована на тележке.

Фильтровальные диски цельнолитые из полиэтилена. Материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом: корпус и крышка — углеродистая сталь, гуммированная резиной 1976-М; прокладки — кислото-

щелочестойкая резина КШ-с; остальные детали — сталь 0Х23Н28М3ДЗТ. Фильтровальная установка предназначена для крупносерийного и массового производства. Ее технические характеристики следующие:

поверхность фильтрования одного пакета, м ²	2
количество пакетов, шт.	1
диаметр диска, мм	300
количество дисков в пакете, шт.	19
давление фильтрования, Па	3 · 10 ⁵
температура суспензии, °С	до 60
тип насоса	1,5—6Л (2В)
подача (по воде), л/с	1,5—3,4
напор, м	2,0—14,5
габаритные размеры, мм	1482 × 644 × 1124
масса, кг	285
мощность электродвигателя, кВт	3
частота вращения, об/мин	2880

На рис. 14 показана кварцевая гуммированная фильтровальная установка модели ИМЭ-203-323-71. Установка предназначена для очистки осадительной ванны гальванических цехов. Она представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат диаметром 3000 мм с двумя эллиптическими днищами. Установка состоит из двух частей: корпуса 1 и нижнего днища 6, между которыми зажата через резиновые прокладки решетка 5 для фильтровальных свечей. На нижнем днище имеются штуцеры 7, которые служат для сброса отфильтрованного раствора. Штуцер 10 предназначен для подачи сжатого воздуха при продувке аппарата, штуцер 9 — для спуска раствора ванны из аппарата. В центре установки проходит труба 8 для подачи раствора на фильтрацию и выхода раствора промывной ванны. В верхней части корпуса фильтра имеется люк 2 диаметром 1000 мм, предназначенный для загрузки кварца, и штуцер 3 для сброса давления воздуха при продувке. В осечку корпуса сварен люк 4 диаметром 400 мм для выгрузки кварца. Нижнее днище имеет люк 11 диаметром 100 мм для технологического обслуживания. Фильтровальная установка этой конструкции применяется

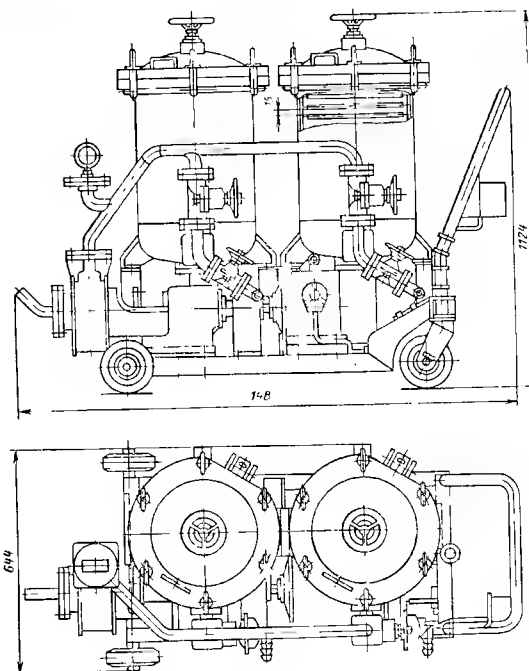


Рис. 13. Фильтровальная установка модели 1ХДМ2-0,3Р с дисково-пакетными фильтрами

при серийном производстве. Ее технические характеристики следующие:

рабочее давление, Па	3 · 10 ⁵
температура среды, °С	2 ± 56
объем фильтра, м ³	12,8
поверхность фильтрования, м ²	7
подача, л/с	27,2
высота слоя кварца, мм	800
количество дренажных головок, шт.	620
диаметр внутреннего, мм	3000
высота (без трубопроводов), мм	3150
масса без заполнения кварца, кг	8435
вариант изготовления	взрывопожаро-безопасный

Для очистки электролита от механических примесей, ускоренного процесса фильтрации в ваннах цинкова-

ния и никелирования применяют пресс-фильтры модели АПМ 112 (рис. 15).

На тележке 1 (рис. 15, а) смонтированы фильтр 2, редуктор 3, сваренный целочной диафрагменный насос 4, который приводится в движение электродвигателем 5. Такая конструкция тележки обеспечивает устойчивость ее и малый радиус поворота. Перемещение тележки производится вручную с помощью ручки 6, которая одновременно является и ограждением.

Электролит из ванны 1 (рис. 15, б) по трубе 2 насосом 4 подается по трубе 4 через открытый фланец 5 в наружную полость фильтра 6. Преодолевая сопротивление суточного фильтра 7, электролит подается во внутреннюю полость, откуда по трубе 10 возвращается в ванну. При фильтрации электролита вентили 8 и 11 перекрыты,

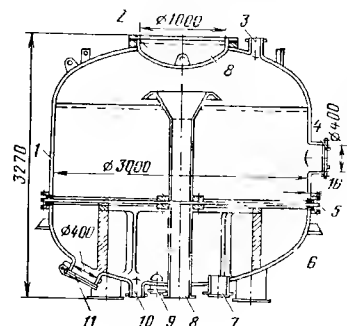


Рис. 14. Кварцевая гуммированная фильтровальная установка модели ИМЭ-203-323-71

а 5 и 9 открыты. При промывке фильтра труба 2 опускается в воду, вентили 5 и 9 перекрываются, а 8 и 11 открываются. Вода насосом подается во внутреннюю полость фильтра, вымывает из сукна механические частицы и шлак и через открытый вентиль 11 сбрасывается в коллектор.

Все детали пресс-фильтра, имеющие контакт с электролитом, выполнены из сталей 12Х18Н10Т и 1Х17Н12.

Пресс-фильтр может использоваться для непрерывной и периодической фильтрации. Его технические характеристики следующие:

подача, л/с 0,16
рабочее давление, МПа 0,2

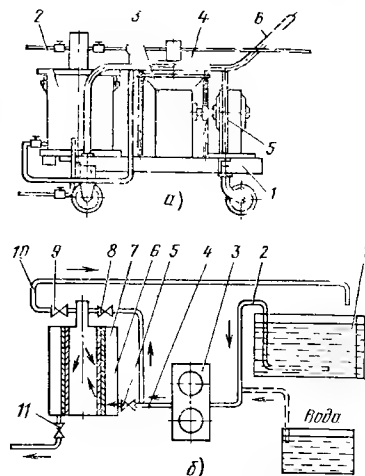


Рис. 15. Пресс-фильтр для очистки электролита от механических загрязнений: а — конструктивная схема; б — схема работы

поверхность фильтра, м ²	0,15
электродвигатель:	
тип	АОЛ2-11-4
мощность, кВт	0,6
частота вращения, об/мин	1500
редуктор:	
тип	РК11-80А
передаточное число	41
габаритные размеры, мм	1100 × 750 × 450
масса, кг	150

Глава 21.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОДВЕСОЧНЫХ УСТРОЙСТВ И ДРУГОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Конструкции подвесок и их элементов. Прогрессивным направлением в проектных решениях гальванических цехов является автоматизация процессов навешивания деталей на подвески и передачи подвесок с конвейеров на гальваноавтомат и обратно на транспортный конвейер, а также централизация монтажа деталей на подвески. Использование таких проектных решений позволяет снизить трудоемкость процесса нанесения металлопокрытий, улучшить условия труда вследствие исключения контакта работающих с токсичными выделениями. Однако реализация таких решений возможна при использовании более надежных, «роботоприспособленных» подвесочных устройств.

Соединение контактных элементов токоподводов подвесок с несущими элементами кареточных автоматов может быть подвижным или неподвижным, но в обоих случаях — разъемным. Выбор типа соединения опреде-

ляется в основном размерами и массой подвески. Тяжелые подвески закрепляют неподвижно на токоподводящих консолях кареточных автоматических линий с жестким шклом. В этом случае на монтажной площадке детали перевешиваются со специальных транспортных подвесок на рабочие, закрепленные на автомате. Подвески меньших размеров используют для транспортировки деталей с монтажного участка, который может быть удален на значительное расстояние от автомата. На автоматах автооператорного типа подвески с помощью подвижного разъемного соединения монтируют на штанги, которые вместе с подвесками транспортируются внутри зон обслуживания автооператоров. Примеры конструктивного исполнения токоподводов к подвескам приведены на рис. 1.

Конструкция подвесок (формы и размеры) устанавливается в зависимости от размеров и формы деталей, на которые наносятся покрытия, габаритов гальванической ванны и особенностей технологического процесса. Габаритные размеры подвесок с деталями не должны выходить за пределы определяемые нормативной документацией, например стандартом ОСТ 2 П60-1—74, и данными, приведенными в табл. 1, 2. Эти размеры,

1. Размеры подвесок для автоматических линий

Глубина ванны, мм	Межкатодное (межкатодное) расстояние, мм	Размеры подвески, мм		
		высота	ширина	длина
1200	450	800	150	400; 600; 900; 1300
	600	800	250	400; 600; 900; 1300
1500	450	1100	150	400; 600
	600	1100	250	600; 900

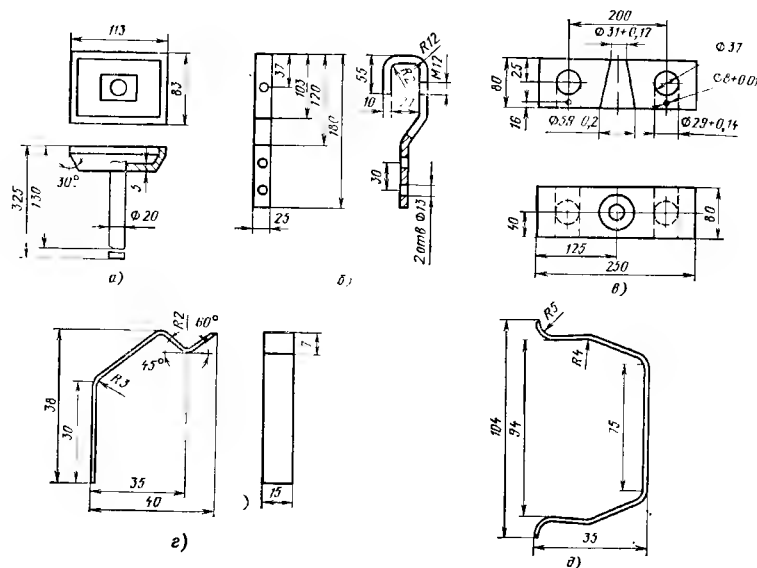


Рис. 1. Конструктивное оформление токоподводов к подвескам и контактам:
а, в — жесткий токоподвод; б — контактный крюк; г, д — пружинный токоподвод

как видно, зависят от размеров ванны, для которых подвески предназначены. При этом определяющими являются глубина ванны и межкатодное (межкатодное) расстояние (см. табл. 1). Размеры подвесок (мм) для кареточных овальных автоматических линий с двумя катодными рядами и межкатодным расстоянием 450 мм приведены ниже:

длина	400	400	600	600
высота	900	1100	900	1100

2. Размеры подвесок для ванн ручного обслуживания

Глубина ванны, мм	Межкатодное (катодное) расстояние, мм	Размеры подвесок, мм		
		высота	ширина	длина
800	450 600	400	250 250	100; 600
		400		400
1000	450 600	600	150 250	600; 400; 600
		600		400; 600

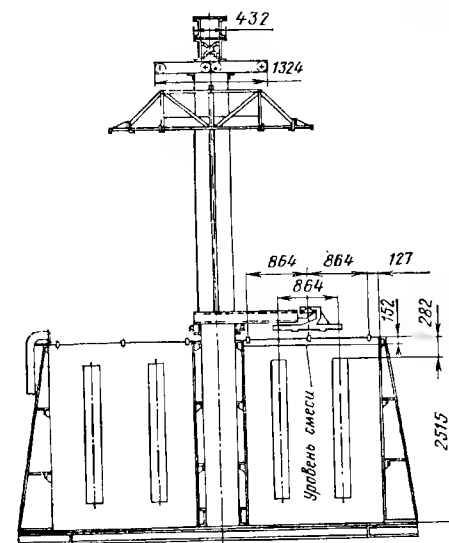


Рис. 2. Автомат для гальванических покрытий (тонкие линии показывают габаритные размеры подвесок с деталями)

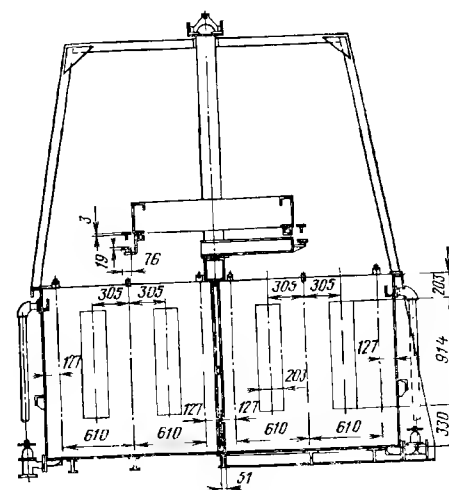


Рис. 3. Автомат для гальванических покрытий (тонкие линии показывают габаритные размеры подвесок с деталями)

гую. Эти обстоятельства учтены при определении габаритов ванн и подвесок (см. табл. 2). Установлено, что если человек должен поднять руку выше уровня плеча, то это требует значительных усилий. Этот фактор следует учитывать при выборе высоты подвески: она не должна быть слишком большой, чтобы перемещение рабочим по весу не вызывало у него затруднения. Ширина подвески должна быть такой, чтобы крючки были удалены друг от друга и не слишком отстояли друг от друга. Верхний край ванны согласно нормам безопасности работы должен быть на высоте 1 м от уровня пола.

При размещении поперечных travers и крючков для навешивания деталей следует учитывать, что заполнение ванны раствором производится до уровня, находящегося на 150 мм ниже верхнего края ванны, а детали должны находиться в электролите на 30–50 мм ниже зеркала раствора. Нижний край подвески должен обеспечивать расположение детали на высоте 120–150 мм над дном ванны, чтобы не допускать контакта со шламом и не возмущать осадок, который образуется на дне некоторых ванн.

Исходными данными для конструирования подвесок является площадь покрываемой поверхности деталей. Расчет поверхности сложнопрофилированных деталей (исходя из больших затрат времени) должен осуществляться достаточно точно. При конструировании подвесок важно правильно рассчитать поперечное сечение и правильно выбрать материал всех элементов подвески во избежание их перегрева в процессе нанесения покрытия. При выборе материала для изготовления подвесок можно принять, что значения электропроводимости углеродистой стали, латуни и меди находятся в соотношении 1 : 4 : 5.

Для цинкования, кадмирования, меднения, серебрения мелких деталей с площадью до 0,2 дм² можно использовать рамную подвеску, у которой на поперечных travers размещаются предварительно изготовленные резьбовые втулки. В эти втулки после изоляции подвески ввинчиваются контактные крючки, которые по потребности могут заменяться (гру-

повые приспособления). Рамная подвеска представляет собой сварную или паяную конструкцию прямоугольной формы. Внутри рамы или по бокам расположены держатели, на которых крепят детали. Рамы могут быть выполнены из стали, латуни, алюминия или титановых сплавов (для анодирования). В верхней части они расположены крючки из меди, латуни или бронзы. С их помощью подвешиваются на токоподводящую шину. Крючки крепят к раме болтами или приваривают. Держатели могут быть съемными или приваренными. Их следует стигать под прямым углом, но не по радиусу, так как в этом случае контакт осуществляется в одной точке.

При нанесении защитных покрытий на детали сложной формы трудно получить слой заданной толщины на внутренних поверхностях, особенно, если глубина отверстия значительно превышает его диаметр. Получить заданную толщину покрытий на внутренних поверхностях возможно, если применить подвеску с внутренним анодом. Анод должен быть изолирован от основной подвески неметаллическими втулками (из винилпласта, фторопласта и других материалов) и иметь гибкий провод с зажимом для крепления на анодной шине. Он должен быть хорошо сцентрирован. Расстояние между внутренним анодом и покрываемой поверхностью должно быть достаточным для выхода газов, выделения которых сопровождает процесс осаждения металла. Внутренний анод предпочтительно изготовлять из осаждаемого металла, но возможно использование нерастворимых (коррозионно-стойких) анодов, например окисных ругенинотитановых анодов (ОРТА). В некоторых случаях, например в щелочных и нейтральных электролитах, можно использовать внутренние аноды из коррозионно-стойкой стали. Следует, однако, учитывать возможность их расширения и загрязнения электролитов продуктами ионизации металла анода. Центрирующие втулки следует изготовлять перфорированными, чтобы не было препятствий для выхода газов и обмена электролита в пространстве между обрабатываемой поверхностью детали и внутренним анодом.

Размещение деталей на подвеске. Размещая детали на подвеске, следует учитывать ряд важных обстоятельств. Положение детали относительно анодов (катодов) должно обеспечивать наиболее равномерное распределение тока на всех участках детали, в то же время детали не должны экранировать друг друга. Контакт детали с подвеской должен быть достаточным по площади, чтобы исключить перегрев металла, и достаточным для того, чтобы детали надежно удерживались на подвеске при перемещении их из одной ванны в другую в процессе подготовки и основной обработки.

Достаточно тяжелые детали прочно удерживаются на крючках подвесок под действием силы тяжести, а легкие детали требуют специального закрепления с помощью пружинных зажимов и других устройств. Особенно жесткий контакт требуется для процессов, выполняемых при интенсивном перемещении раствора и высоких плотностях тока (хромирование, электрополирование), а также при анодном окислении, когда вследствие слабого контакта может образоваться окисная пленка на контактных участках и ток не будет подаваться на детали. Процесс анодирования при этом прекращается, и происходит бестоковое растворение слоя образовавшегося ранее оксида, а также обработки самого металла в электролите.

Выделение значительного количества водорода в процессе хромирования и кислотоудаления при электрополировании и анодном окислении заставляет так располагать деталь, чтобы обеспечить свободный отток газов и исключить их скопление у некоторых поверхностей обрабатываемых деталей. При неправильном подвешивании деталей газовые пузыри препятствуют электроосаждению металла и образованию покрытия или вызывают растрескивание основного металла (при электрополировании). При перемещении электролита или непрерывной фильтрации опасность этих дефектов уменьшается, так как движение раствора облегчает его дегазацию. Дефекты покрытия из-за образования газовых водородных или воздушных пузырей свидетельствуют о типичной ошибке при конструировании. Такие дефекты могут быть устранены путем незначи-

тельной реконструкции подвесок. Иногда требуется лишь изменить место контакта, чтобы обеспечить свободный доступ раствора ко всем участкам поверхности покрываемой детали или свободный отвод водорода, выделяющегося одновременно с металлом.

При конструировании подвесок следует учитывать способ монтажа и демонтажа деталей на подвеске. При ручном и механизированном (при использовании роботов) способах навешивания деталей на подвески конструкции посадочных мест различаются. Неодинаковыми должны быть в этих случаях и элементы крепления подвесок на транспортных устройствах автоматов. Необходимо, чтобы при монтаже деталей с плоскими контактами на подвеске обеспечивалось полное прилегание их по всей поверхности. Размещать деталь на подвеске нужно так, чтобы плотность тока на выступах не была чрезмерно высокой, например, острые углы и ребра на покрываемых деталях не должны выступать в сторону анодов.

Материал для подвесок и других элементов технологической оснастки. Основное требование к материалу подвесок — высокая электропроводимость его и его оксидов. Этому требованию в наибольшей степени отвечает медь, для которой через проводник сечением 1 мм² можно пропускать ток 2,5 А. Помимо меди для изготовления подвесок применяются латунь, углеродистые стали, титановые и алюминиевые сплавы.

Раньше для изготовления контактов чаще всего использовали латунь. В современных конструкциях латунь заменяют пружинящими стальными проводниками. Достоинством стального проводника является его высокая прочность, в отличие от латуни, которая при частой деформации разрушается. Но неизолированный стальной контакт неизбежно становится источником загрязнения электролита.

Стержень подвески должен изготовляться преимущественно из медного или латунного плоского, круглого или четырехгранного материала в тех случаях, когда плотность тока высока. Основные материалы, используемые для технологической оснастки, приведены в табл. 3.

3. Материалы, применяемые для изготовления элементов технологической оснастки (по ГОСТ 2 ПОВ-1 74)

Элементы технологической оснастки	Материал элементов технологической оснастки
Оснастка для различных электролитических процессов (за исключением анодирования, электрополирования и хромирования) для хромирования	Углеродистая сталь, ГОСТ 380-71*
Оснастка для анодирования и электрополирования	Медь, ГОСТ 859-78*, углеродистая сталь, ГОСТ 380-71*
Подвесочные устройства для нанесения химических покрытий	Титан марки ВТ1-0
Корпуса для защелкивания анодов, подвесочные устройства для электролитических покрытий и титановых анодных кернов	Медь, ГОСТ 859-78*, углеродистая сталь, ГОСТ 380-71*
Пружинные контакты для всех процессов (кроме анодирования и электрополирования)	Коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т, ГОСТ 4617-72*, углеродистая сталь, ГОСТ 380-71*
Неружняющие контакты для всех процессов (кроме анодирования и электрополирования)	Медь, ГОСТ 859-78*
Анодные краны и контакты для процессов анодирования и электрополирования	Коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т, ГОСТ 4617-72*
	Углеродистая сталь, ГОСТ 380-71*
	Титан марки ВТ1-0

Изоляция подвесок. Все участки подвески, за исключением мест контакта, должны быть изолированы (электропроводящих материалов (резиной, полихлорвиниловым лаком, полиэтиленовой пленкой). Раньше для изоляции подвесок использовался лак. С появлением полимерных порошков горячей сушки для изоляции подвесок стали применять покрытия различными кислотами и теплоустойчивыми пластмассами. Масса наносится на подвеску при повышенной температуре, затем обжигается при температуре до 200 °С. Если обжигание производится в органических растворителях (в том числе в хлорированных углеводородах — трихлорэтилене), изоляционный материал должен быть устойчивым в этих средах. Один из недостатков изоляционных покрытий состоит в том, что со временем изоляция может отслаиваться возле мест контакта, и там образуется полость, благодаря которой электролиты из одной ванны могут переноситься в другую, загрязняя их. Так, например, электролит хромирования, попавая в электролит никелирования, выводит из строя последний.

Изоляция подвесок приводит к экономии металла покрытия, уменьшению расхода электроэнергии, увеличению срока службы подвесок, созданию наиболее благоприятных условий для осаждения металла покрытия на поверхности детали.

Раньше наиболее доступным средством изоляции подвесок являлось обвязывание их лентами из тонкого пластика. Операция трудоемкая и недостаточно эффективная. В настоящее время для изоляции подвесок рекомендуется применять покрытие полимерными материалами. Нанесение изоляции включает следующие операции: обезжиривание, обдувку песком или дробью, грунтовку, обжиг грунта. Для изоляции подвесок применяют специальную пластмассу «Диплазоль-2А». На срок службы подвесок оказывает влияние способ удаления изоляции с мест контактирования. От изоляции должна освободиться минимально необходимая поверхность. С этой целью на проводящие контакты диаметром до 5 мм следует перед изоляцией насаживать латунные наконечники или изоляционные трубки. При удалении изоляции с мест контакта механическим способом при помощи клещей изоляция может отслаиваться в месте перехода.

В процессе эксплуатации происходит нарушение изоляции в нижней части подвески (опора подвески), и там образуются наросты металла. Чтобы устранить этот недостаток, на опоре подвесок целесообразно размещать пластмассовые втулки и изолировать их вместе с подвеской. Благодаря такой несложной операции основание подвесок становится способным

выдерживать удары без образования наростов металла.

Подвески для хромирования. Конструкция подвесок для хромирования сложнопрофилированных деталей должна компенсировать его высокую рассеивающую способность и обеспечить максимально возможную равномерность распределения тока на всех участках сложнопрофилированной детали. Подвески для хромирования имеют сложную конструкцию. Они состоят из элементов, осуществляющих контакт детали с катодной токоведущей штангой, внутренних анодов и дополнительных экранов, позволяющих избежать появления плотности тока на выступающих частях детали. Внутренний анод обычно имеет форму, которая повторяет очертания внутренней поверхности детали, но имеет меньшие размеры с учетом свободного газораспределения.

Расстояние между деталью и внутренним анодом не обязательно должно быть одинаковым в любой точке покрываемой поверхности. При небольшой продолжительности процесса можно применять в исключительных случаях вместо свинцовых анодов сталь, хотя это приводит к загрязнению электролита железом.

При конструировании подвесок для хромирования необходимо следить, чтобы не создавались препятствия на пути выделяющегося водорода. Все центрирующие втулки, шайбы должны быть перфорированы.

Чтобы получить равномерный слой хрома на всей поверхности, в конструкции подвески применяют экраны, являющиеся продолжением хромируемой поверхности детали, благодаря чему концентрацию силовых линий удается сместить с края детали на край кольца подвески.

Подробнее об экранировании деталей

сказано в гл. 7. В связи с высокой плотностью тока при хромировании следует тщательно рассчитывать поперечное сечение всех токоведущих деталей подвесок, чтобы в процессе электролиза не происходило нагрева контактов или подвески.

Для проводников из разных металлов можно допускать следующие плотности тока (А/мм²): медь — 2,5, алюминий — 1,8, латунь — 0,9, никель — 0,4, железо — 0,4. Для

экранирования острых кромок и углов в конструкции приспособления необходимо предусматривать экраны из проводящих или непроводящих материалов, расположенных по контуру, на расстоянии не более 15—20 мм. При хромировании пазы и отверстия закрывают пробками из свинца или других материалов.

Подвески для анодного оксидирования деталей из алюминиевых сплавов. Такие подвески рекомендуются и изготавливать из алюминия. Крепление деталей должно быть жестким, чтобы на контактных поверхностях не могла образоваться окисная пленка. Требуемая жесткость достигается применением пружинных контактов. Так как при повторном монтаже деталей места контакта могут не совпадать, необходимо после каждой операции анодирования подвески протирать в 3—5%-ном растворе NaOH при 50—60 °С для удаления окисной пленки или зачищать места контакта. Однако это значительно сокращает срок службы подвески.

Титановые сплавы являются идеальным материалом для изготовления подвесок при анодном оксидировании. Этот материал имеет высокую коррозионную стойкость в растворах кислот H_2SO_4 и H_2ClO_4 , благодаря чему подвески могут служить длительное время. Отпадает необходимость в травлении подвески после каждой операции анодирования. Несмотря на высокую стоимость титана, затраты на изготовление подвески из титановых сплавов быстро окупаются. В целях экономии можно использовать титан лишь для изготовления контактов, а все другие детали (рамы и поперечные траверсы) изготавливать из алюминия. Применение титановых подвесок исключает загрязнение электролита. Так как при анодировании из алюминия и титана образуется неэлектропроводящий слой оксида, подвески для анодного оксидирования не нуждаются в изоляции. Для изготовления подвесок из алюминия сплав должен быть той же или предпочтительно более высокой чистоты, чем металл детали. В противном случае ток будет перераспределяться между обработываемыми деталями и элементами подвесок, и на подвесках он будет более высоким.

Обслуживание подвесок. В процессе эксплуатации подвески должны периодически осматриваться для выявления мест повреждения изоляции, наростов металла на контактных участках. Возможны механические повреждения — поломка крючков, пружинных устройств. Такие подвески должны своевременно направляться в ремонт. Изоляция должна периодически проверяться; если она повреждена, ее следует обновить и таким образом ликвидировать опасность загрязнения электролита.

Подвески, временно не применяющиеся, должны храниться на складе. Размещение их может быть различным, например, если подвески имеют пазы на ручке, их можно хранить в подвешенном состоянии. Возможно расположение подвесок на тележках для транспортировки, которые одновременно служат для хранения. При размещении подвесок на хранение расстояние между ними должно быть достаточным, чтобы исключить сцепление и сгибание контактов. Бережное хранение подвесок позволяет значительно продлить срок их службы.

Со временем на контактных поверхностях образуются наросты металла (дендриты), которые необходимо удалять. Это можно осуществить механическим способом, сбивая наросты, не имеющие прочного сцепления с подвеской. Подвески для цинкования легко очищаются в растворе 5—10 %-ной HCl. Другие металлы также целесообразно удалять с крючков химическим или электрохимическим способом, а не механически, поскольку при этом возможны неисправные деформации элементов подвески.

Дополнительные элементы технологической оснастки. Размеры титановых анодных корзин для типовых автоматических и механизированных линий и ванн ручного обслуживания должны соответствовать размерам, указанным в табл. 4.

Крепление крючков к титановым анодным корзинам может осуществляться с помощью болтовых соединений. Места болтовых соединений должны быть на 80—100 мм выше уровня раствора в ваннах. В соответствии с ОСТ 2 П60-1—74 размер ячеек титановых анодных корзин должен находиться в диапазоне 4X4—6X6 мм.

Площадь сечения крючков и толщина стенок титановых корзин должны рассчитываться из условия максимальных нагрузок по массе и току.

Применение титана для изготовления элементов технологической оснастки в гальванических ваннах даже в ряде электролитов хромирования (сульфатном, сульфатном с молибденовой кислотой и саморегулирующимся сульфатнокремнефтористоводородным) вполне оправданно. Обследование, например, титановых ванн хромирования, проработавших в течение 4—5 лет на различных предприятиях, показало, что они находятся в хорошем состоянии.

Титановые анодные корзины заполняют анодным материалом, удовлетворяющим определенным требованиям по чистоте (табл. 5). Попадание загрязнений в раствор (а затем в осадок) из анодов может быть предотвращено во многих случаях за счет использования схемы очистки растворов, обеспечивающей отделение примесей от электролитов.

5. Анодные материалы для основных гальванических операций

Операция	Анодный материал	Достижимая степень чистоты материала, %	Форма анодного материала с учетом получения	Вредные примеси в анодном материале
Цинкование	Zn	99,9	Шаровая; экструзионная, прокаткой	Cu, Cd, Pb, Sn
Кадмирование	Cd	99,9	Шаровая; литьем, прокаткой, экструзионная	Ag, As, Cu, Fe, Pb, Sb, Ti, Zn
Меднение	Cu	99,97	Шаровая; электролитический, прокаткой, экструзионная	Ag, Cd, Fe, Pb, S, Sn, Zn
Хромирование	Свинцовый сплав (%) с добавками: Sn 7%; Pb 4%; Ag 0,5%; Sb 6% (не для фторидосодержащих растворов)	99,92	Цилиндрическая плоская; прокаткой, экструзионная	Al, Cu, Cd, Zn
Никелирование	Ni	99,98 99,93	Плоская; электролитический литьем или прокаткой	Ag, Sn, Zn, Cd, Cu, Fe
Оловянирование	Sn	99,92	Плоская; литьем, прокаткой, экструзионная	Ag, As, Bi, Cd, Cu, Fe, Pb, S
Серебрение	Sn — Pb Ag	99,93 99,95	Плоская; литьем, прокаткой, экструзионная; плоская; литьем, прокаткой	Sb, Ni, Zn, Bi, Fe, Mn, Se, S, Sn, Ti, Zn

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОДВЕСОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Распределение тока на электродах в гальванической ванне зависит не только от электрохимических характеристик электролита, но и от геометрии ванны, что, естественно, должно учитываться при проектировании подвесочных устройств.

В практике проектирования подвесочных устройств выработаны рекомендации по размещению деталей. Например, для плоских рядом расположенных деталей расстояния принимают небольшими: 15—30 мм. При однорядном размещении цилиндрических деталей на подвесках для декоративного хромирования их располагают на расстоянии 1—2 диаметров, а для твердого хромирования — 2—3 диаметров. Для электролитов с иной рассеивающей способностью эти расстояния могут быть другими. Приведенные данные носят ориенти-

ровочный характер и не позволяют выбрать оптимальную геометрию ванны. Поэтому необходимо использовать более надежные способы выбора размещения деталей на подвеске и решать вопросы, связанные с распределением тока на покрываемой поверхности. Надежным методом экспериментального подбора является моделирование и расчет всех параметров ванны.

Нормативной базой для учета геометрии ванны являются стандарты, определяющие размеры ванн и подвесок, а учет электрохимических свойств электролитов может проводиться на основе экспериментальных справочных данных по поляризационным и кондуктометрическим измерениям.

При определении геометрии многопозиционных ванн кареточных оваловых автоматических линий, влияющей на распределение тока на деталях, приняты следующие нормы: расстояние между соседними подвесками 100 мм, расстояние от края подвески до борта ванны 80 мм; для ванн автооператорных линий расстояние от края подвески до горловой стенки ванны не менее 100 мм.

4. Внутренние размеры (мм) титановых анодных корзин (по ОСТ 2 П60-1—74) для различных видов ванн

Тип ванны	Длина	Ширина	Высота
Для автоматических и автооператорных линий (глубина 1500 мм)	200	55	1200
Для автооператорных и механизированных линий (глубина 1200 мм)	200	55	900
Ручного обслуживания (глубина 1000 мм)	150	55	700
Ручного обслуживания (глубина 800 мм)	150	55	500

В тех случаях, когда размеры ванны не позволяют получить удовлетворительные результаты по распределению тока на покрываемых деталях, они могут быть изменены. Расстояние между центрами анодных цитанг

$$B = 0,5 (Ж + 2И + З), \quad (I)$$

где Ж — максимальный размер подвесок с деталями по ширине ванны; И — расстояние между анодом и ближайшим краем детали; З — ширина анодной корзины. Расстояние И зависит от рассеивающей способности электролитов: для электролитов с высокой рассеивающей способностью эта величина уменьшается.

В вертикальном сечении размеры моделируемой гальванической ванны определяются ее глубиной и высотой подвески и анодных корзины. В этом сечении размеры ванн и подвесок также могут отличаться от данных, приведенных в гл. 19, если размеры покрываемых деталей превышают установленные нормы. Однако для подвесок кареточных автоматических линий не рекомендуется высота более 1600—1800 мм. Для определения глубины ванны используют следующие нормы: расстояние от нижнего края подвески до дна ванны 200 мм; толщина слоя электролита над верхним краем подвески 50 мм; расстояние от зеркала электролита до края ванны 150 мм. Эти нормы относятся к ваннам средних размеров.

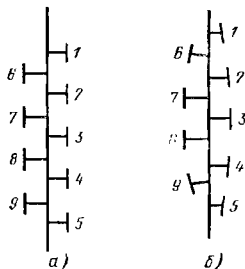


Рис. 4. Схема горизонтального сечения подвески для медно-никель-хромового покрытия накладки капота легкового автомобиля:

а — плоскостное размещение деталей; б — эллипсoidalное размещение деталей; 1—9 — номера позиций на подвеске

Анализ экспериментальных данных при выборе вариантов подвесочных устройств. Исследования проводятся с использованием подвесочных устройств, подлежащих сравнению, непосредственно в раб-тающих гальванических ваннах. На основе анализа результатов измерений толщин покрытий на деталях, полученных с использованием сравниваемых вариантов, делают заключение относительно их преимуществ и недостатков.

Пример. Опытные работы проводили на автоматической линии мостового типа, предназначенной для нанесения медного слоя многослойного покрытия медь-три-никель-хром. Для меднения применялся кислый сульфатный электролит следующего состава (г/л):

$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 200—250

H_2SO_4 50—60

Блеск-образователь

УВАК М-1 4—6 мл/л

Режим осаджения: $i_{\text{ср}} = 1,3 \pm 1,0$ А/дм²; $t = 18 \pm 20^\circ\text{C}$; объем ванны 70 м³.

Измерения толщин покрытий осуществляли неразрушающим методом (использовали прибор электромагнитной системы с погрешностью ±2,5%) в определенных точках поверхности детали. Исследовали распределение тока на подвесках для деталей трех типов: бампер, накладка капота, колпак колеса.

Используемая ванна меднения — многопозиционная, поэтому возможны в разных позициях чередования подвесок разной длины для бамперов (700—800 мм) с подвесками для накладок капота или колесных колпачков. Поэтому анализ распределения тока на деталях должен выявить допустимые и недопустимые сочетания подвесок на разных позициях гальванической ванны.

Полученные экспериментальные данные показали, что распределение тока на подвеске для бамперов равномернее, чем на подвеске с накладками капота, поскольку в этом случае имеет место не благоприятное сочетание высоты рабочей части катодной подвески и высоты анодной корзины.

Проведенные опытные работы показали, что можно улучшить распределение тока на подвеске с накладками капота (горизонтальное сечение) путем изменения положения деталей на ней (табл. 6, 7). Переход к эллипсoidalному размещению в ванне на подвеске (рис. 4) позволяет улучшить распределение тока и при меднении колесного колпачка. Из полученных данных следует также, что общий ток на подвеску с деталями зависит от соотношения рабочих поверхностей деталей, находящихся на соседних подвесках. Например, если оказываются на соседних позициях ванны подвески с бамперами (175 дм²) и накладками (153 дм²), ток на подвеске с бамперами возрастает по сравнению со случаем, когда на соседних позициях одинаковые подвески.

6. Распределение тока (А) на подвеске с плоским размещением покрываемых деталей

Позиция детали на подвеске	Точка контроля толщины медного покрытия на детали														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	43	41	41	41	27	25	32	26	23	26	25	30	54	58	62
2	42	38	39	25	22	25	25	23	24	26	25	26	56	54	58
3	39	38	10	22	22	23	23	23	23	26	24	24	60	61	61
4	39	40	10	22	22	23	23	23	23	24	24	24	61	61	70
5	39	42	47	26	28	28	28	24	29	29	30	31	61	64	65
6	44	40	40	30	28	26	31	25	24	34	28	28	70	64	64
7	38	37	41	23	23	22	22	22	23	23	23	26	56	56	56
8	38	38	40	24	22	22	22	22	23	23	23	26	57	56	56
9	1	1	1	96	27	30	34	15	31	25	27	34	63	61	70

7. Распределение тока (А) на подвеске с эллипсoidalным размещением покрываемых деталей

Позиция детали на подвеске	Точка контроля толщины медного покрытия на детали														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	42	41	42	33	32	33	31	29	30	34	34	33	55	55	53
2	42	41	42	32	31	33	29	29	30	33	34	34	52	52	53
3	41	41	42	30	29	31	29	27	29	32	32	33	51	51	52
4	42	42	40	32	30	31	28	28	28	34	33	33	52	52	52
5	42	42	41	31	31	32	29	29	28	32	31	32	53	54	54
6	43	42	41	34	33	35	29	28	29	36	35	35	57	56	54
7	40	41	41	31	30	30	27	27	28	33	32	31	55	55	54
8	41	41	43	31	30	31	28	27	28	32	32	32	54	53	54
9	19	41	42	31	32	33	28	29	29	33	34	35	53	55	57

Стандартные геометрические соотношения в ваннах гальванопокрытий. При анализе влияния электрохимических факторов на распределение тока на подвесках на основе ОСТ 2 П160-1—74 целесообразно рассмотреть следующие варианты сочетаний размеров ванны (глубина), подвески (высота и ширина) и анодных корзины (высота) (табл. 8).

8. Варианты сочетаний размеров в вертикальном сечении гальванических ванн

Тип геометрии ванны	Размеры ванны, мм		Размеры подвески, мм		Высота анодных корзин, мм
	Глубина	Межанодное расстояние	Высота	Ширина	
1	1500	600	1100	200	1200
2	1500	450	1100	100	1200
3	1200	600	800	200	900
4	1200	450	800	100	900

9. Варианты сочетаний размеров в горизонтальном сечении гальванических ванн (по ОСТ 2 П60-1—74)

Тип геометрии ванны	Размеры элементов (рис. 5)				
	В	В	Ж	З	Д
1	600	600	150	55	200
2	900	600	250	55	200
3	400	400	150	55	200
4	600	400	150	55	200
5	600	600	250	55	200
6	900	600	250	55	200
7	1300	600	250	55	200
8	400	400	150	55	200
9	600	450	150	55	200
10	900	450	150	55	200
11	1300	450	150	55	200

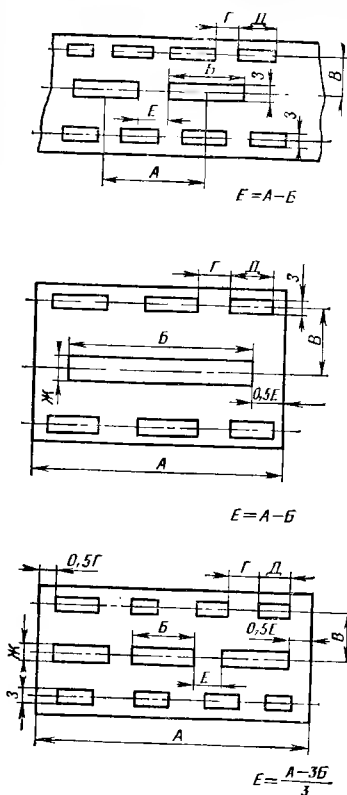


Рис. 5. Схемы горизонтального сечения гальванических ванн для определения ее геометрических параметров

деляются типом используемого оборудования. Для кареточных автоматических линий с многопозиционными ваннами характерным является соотношение длины подвески и шагового размера на линии; для автоматизированных и механизированных линий — сочетание длины подвески и ширины ванны, а также расстояние между подвесками в случае погружения нескольких подвесок одновременно в ванну. Другие размеры, приведенные на схемах рис. 5, определяются следующим образом:

A — из нормативных документов (или чертежа ванны) на оборудование, используемое в проектируемом технологическом процессе;
 B — по размеру A с учетом числа анодных корзин, располагаемых на этом расстоянии в одном ряду;
 E — по формулам, как показано на рис. 5.

Приведенные в табл. 8 и 9 сочетания размеров геометрических элементов ванны в вертикальных и горизонтальных сечениях не исчерпывают всех вариантов сочетаний, используемых в промышленности. Для нанесения покрытий на крупногабаритные детали используют ванны, размеры которых больше (по глубине и межанолюдиному расстоянию), чем стандартизованные размеры ванн; для покрытия деталей небольших размеров в приборостроении используют подвески меньших размеров, особенно в случаях покрытия драгоценными металлами.

Данные, аналогичные приведенным в табл. 8 и 9, необходимы при проведении расчетов подвески при выборе размеров модельных электролизеров для проведения экспериментальных исследований распределения тока и выборе расчетных областей, определяющих крайние условия на электродах, при решении задач распределения тока на электродах — деталях проектируемых подвесочных устройств.

Моделирование гальванической ванны при подборе геометрических параметров ванн в процессе проектирования подвесочных устройств (выборе положения деталей на подвеске, положения вспомогательных анодов, биполярных электродов, проводящих или непроводящих экранов), отвечающих максимальной равномерности распределения тока, может быть использован экспериментальный метод, основанный на зондировании электрического поля модельных электролизеров, воспроизводящих геометрические параметры, соответствующие горизонтальному и вертикальному сечению рабаваемой гальванической ванны. Преимущество метода — использование прямоугольных модельных электролизеров небольших размеров: модели обычно воспроизводят небольшие участки сечений гальвани-

ческой ванны, в основном находящиеся между осью катода (подвески) и поверхностью анодной корзины, т. е. одна сторона прямоугольника модельного электролизера в соответствии с данными табл. 8 и 9 имеет длину около 300 мм, длина другой стороны определяется размерами покрываемых деталей и обычно составляет <300 мм. Точные размеры электролизеров определяются размерами деталей и гальванической ванны, для которой проектируется подвеска. Наименьшими являются размеры модельного электролизера в том случае, если на подвеске детали размещаются в один ряд, а также в случае двухрядного симметричного расположения деталей относительно оси подвески. В этих случаях распределение тока на деталях определяется только полем анодов, расположенных с одной стороны от подвески. В случае несимметричного размещения деталей на подвеске необходимо учитывать поле анодов, находящихся с другой стороны подвески. Тогда размеры электролизера увеличиваются до межанолюдиного расстояния.

Метод зондирования электрического поля ванны состоит в измерении потенциала в некоторых выбранных точках поля электролизера. Результаты измерения потенциала используют для построения картины эквипотенциальных линий поля, которая позволяет судить о степени равномерности распределения потенциала и тока по поверхности деталей. Построение картины эквипотенциальных линий можно ускорить, а подбор геометрических параметров ванны при проектировании подвески упростить, если использовать автоматизированное зондирование, обеспечивающее непосредственную регистрацию эквипотенциальных линий, соответствующих выбранным значениям потенциалов. В основе применения анализа картины эквипотенциальных линий электролизера для выбора оптимальных геометрических условий лежат: представление о том, что при эквидистантности ближайших к поверхности поляризованных электродов эквипотенциальных линий имеет место равномерное распределение потенциала и тока по поверхности электрода; 1 — условия или приближения к ним до-

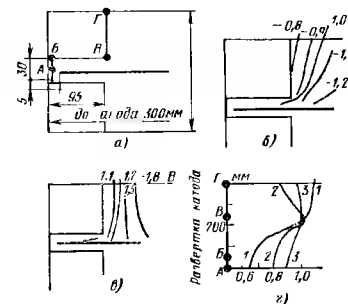


Рис. 6. Схема моделируемой ванны для подбора условий покрытия деталей:

a — исследуемая деталь с большим углублением; b — картины эквипотенциальных линий при использовании дополнительного анода; c — картины эквипотенциальных линий при использовании биполярного электрода; d — распределение потенциала по поверхности катода: 1 — без вспомогательных средств улучшения распределения тока; 2 — при применении дополнительного анода; 3 — при использовании биполярного электрода; A, B, B, Γ — исследуемые точки на поверхности детали

вольно быстро находятся, если элементы, моделирующие покрываемые детали, дополнительные аноды, биполярные электроды и их экраны, можно перемещать в пространстве моделируемой ванны и для каждого нового положения регистрировать эквипотенциальные линии для нескольких значений потенциалов.

Ниже приведены примеры применения моделирования гальванической ванны при анализе влияния геометрических условий в ванне на распределение потенциала в поле электролизера.

Пример 1. Для детали с большим углублением (рис. 6) требуется подобрать размеры и выбрать расположение дополнительного (внутреннего) анода или биполярного электрода при меднении на подвеске в ванне с межанолюдиным расстоянием 600 мм. При решении задачи с помощью специальной установки для автоматизированного зондирования электрического поля провели изучение электрических полей в модельной прямоугольной ванне, имеющей длину 300 и ширину 200 мм. Модельную ванну заполняли этилендиаминным электролитом меднения, опыты проводили при средней плотности тока 1 А/дм². Подвижный электрод — зонд — каломельный электрод. Геометрические характеристики модельной ванны, картины эквипотенциальных линий, а также

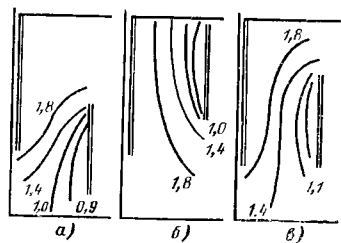


Рис. 7. Картины эквипотенциальных линий (по н. к. э.) в моделируемой ванне при изменении взаимного положения подвески и анодов (использовался этилендиаминный электролит медицин)

распределение потенциала по профилю катода приведены на рис. 6. Из этих данных следует, что лучшая равномерность распределения по площади обеспечивается при использовании биполярного медного электрода. Применение дополнительного анода при выбранных размерах и размещении не приводит к равномерному распределению тока по поверхности детали, и у входа в углубление возможен пригар. Конструкция подвесочного устройства сложнее при применении дополнительного анода, так как при этом необходим анодный токоподвод, использование биполярного электрода связано только с фиксацией его на подвеске.

Пример 2. Требуется определить оптимальное расположение деталей на подвеске, которая может выходить в разных положениях по высоте ванны. На рис. 7 показаны картины эквипотенциальных линий в моделируемой ванне при трех вариантах расположения подвески относительно анода (вертикальное сечение ванны). В первом варианте (а) сильно нагружены током детали верхних рядов подвески, во втором (б) — на нижних рядах детали плотность тока выше, в третьем (в) взаимное расположение подвески и анода отвечает более равномерному распределению тока. Из рис. 7 видно, что лучшие условия покрытия отвечают такому расположению деталей на подвеске, которое определяется ближайшей эквипотенциальной линией, т. е. эллипсoidalная геометрия размещения деталей на подвеске отвечает равномерному распределению тока (см рис. 4).

Расчеты распределения тока на подвесках и деталях. Распределение тока на электродах рассчитывается на основе решения задачи о распределении потенциала E в поле ванны и на поверхности электродов. Оно определяется геометрическими размерами ванны и электродов (подвески, анодов, отдельных деталей) катодной и анод-

ной поляризационными кривыми, электропроводностью раствора и электрическим режимом работы гальванической ванны, который может быть задан клеммовым напряжением, общим током или средней плотностью тока. Для проведения расчетов используются математическую модель, включающую уравнение для потенциала в плоском поле ванны (2) и соответствующие граничные условия (3)–(5).

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} = 0; \quad (2)$$

$$E + \eta_k \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial E}{\partial n} \right) \Big|_{S_k} = U; \quad (3)$$

$$E + \eta_a \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial E}{\partial n} \right) \Big|_{S_a} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial E}{\partial n} \Big|_{S_n} = 0, \quad (5)$$

где S_k , S_a и S_n — соответственно площади поверхности катода, анода и изоляторов (зеркало электролита, стенки ванны); η_k и η_a — поляризации соответственно для катода и анода; ρ — удельное сопротивление электролита; U — клеммовое напряжение на ванне; x , y , n — линейные координаты.

Числовые расчеты распределения потенциала и на этой основе распределения тока по поверхности катода (подвески или отдельной детали) производят на ЭВМ с использованием соответствующих программ. Исходные данные для расчета формируют с учетом геометрических параметров, определяемых на основе данных на с. 177, и чертежных размеров покрываемой детали. Кроме того, используют экспериментальные или справочные электрохимические характеристики электролита (поляризационные кривые, удельное сопротивление с учетом температуры, перемешивания и др.). Точность проводимых расчетов зависит от точности исходных данных и метода решения задачи, лежащего в основе используемой программы.

СХЕМА РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОДВЕСОЧНОГО УСТРОЙСТВА

Схема расчета при проектировании подвесочного устройства состоит из следующих этапов:

изучение исходных данных (требования чертежа к качеству покрытия, свойства электролита, размеры ванны);

определение типа подвески (индивидуальная, групповая, на одно изделие или несколько, стержневая, рамная или комбинированная);

расчет числа одновременно обрабатываемых деталей на подвеске из условия максимальной загрузки (при однорядной или двухрядной схеме размещения деталей на подвеске);

расчет общего тока и общей массы подвески с деталями при максимальной загрузке подвески; проверка ограничений по току, по массе, по прочности элементов подвески;

определение распределения тока по поверхности деталей на разных участках подвески (на ЭВМ или с помощью

моделирования с использованием моделей сечений ванны с проектируемым подвесочным устройством);

проверка соответствия распределения тока требованиям чертежа и ГОСТ 9.302—79*;

определение распределения тока на деталях для других вариантов расположения деталей на подвесочном устройстве; выбирается вариант, отвечающий максимальной загрузке подвески деталями и удовлетворяющий одновременно требованиям чертежа и ГОСТ 9.302—79*;

проверка влияния элементов подвески на распределение тока;

расчет распределения электролиза, продолжительности процесса и себестоимости операции.

Приведенная схема расчета может быть использована при разработке алгоритмов автоматизированного проектирования технологической оснастки для гальванических ванн, удовлетворяющей требованиям гибких автоматизированных производств гальванических покрытий.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Общие сведения. Основными элементами электрооборудования гальванических цехов являются источники питания, токопроводы, коммутационная аппаратура и т. п.

Для питания гальванических ванн используется постоянный ток, получаемый от источников питания — полупроводниковых выпрямителей и в отдельных случаях — от электромашиных генераторов. От технического уровня источников питания зависит эффективность технологического процесса: качество гальванопокрытий, производительность, экономические показатели. В соответствии с возрастающими требованиями к качеству гальванопокрытий повышаются требования к источникам питания ванн.

В зависимости от назначения и мощности применяемого оборудования в гальванотехнике используются различные схемы выпрямления: однофазные, многофазные (в основном 3- и 6-фазные); неререверсивные, реверсивные и т. п.

Однофазные выпрямители предназначены для питания маломощных (в основном лабораторных) потребителей.

Многофазные выпрямители имеют ряд преимуществ перед однофазными: лучшие удельные технико-экономические показатели; симметричную загрузку всех трех фаз питающей сети; меньшие пульсации выпрямленного тока и т. п. Эти достоинства и определили широкое применение многофазных выпрямителей в гальванических цехах.

Основным источником питания гальванических ванн как потребителей постоянного тока являются полупроводниковые выпрямители, выполненные на тиристорах или на кремневых диодах. Технико-экономические показатели таких выпрямителей

в значительной мере зависят от схемы выпрямления. В частности, от типа применяемой схемы выпрямления зависят количество вентиляторов в преобразователе и их параметры; мощность трансформатора; габариты и масса преобразователя; площадь пола, занимаемая преобразователем; капитальные затраты и эксплуатационные расходы; качество выпрямленного тока (форма тока, уровень высших гармоник в кривой выпрямленного тока); энергетические показатели преобразователя (КПД, коэффициент мощности); уровень высших гармоник, генерируемых преобразователем в сеть переменного тока, и т. п. В свою очередь, форма выходного тока выпрямителя влияет на качество некоторых гальванопокрытий, что также следует учитывать при выборе схемы выпрямления.

Пульсации выпрямленного тока. Одновременно с переходом на полупроводниковые выпрямители встал вопрос о пульсациях выпрямленного тока. Объясняется это тем, что электромашиные генераторы вырабатывали постоянный ток, практически не имеющий пульсаций. Выпрямители же вырабатывают ток пульсирующий, причем величина пульсаций сильно зависит от схемы выпрямления и режима работы преобразователя. Пульсации для многих гальванических процессов вредны. Между величиной пульсаций тока и качеством гальванических покрытий имеется прямая взаимосвязь: например, при хромировании пульсации заметно снижают блеск, твердость и износостойкость покрытий. В некоторых случаях пульсации дают и положительные результаты. Установлено, что можно получать многослойные хромовые покрытия, изменяя величину пульсаций во время процесса: вначале вести осаждение покрытия при больших пульсациях выпрямленного тока (этим обеспечивается осаждение молочно-

хрома, имеющего высокую герметичность), а на последней стадии снизить пульсации до минимума, вследствие чего покрытие будет твердым и блестящим. Есть и другие области полезного применения тока с большими пульсациями: окрашивание окисных пленок алюминия, оксидирование меди, анодирование металлов, рафинирование золота, обезжиривание и т. п.

Сглаживающие фильтры. Основными негативными последствиями пульсаций выпрямленного тока являются: снижение твердости покрытия, его износостойкости и блеска, снижение скорости осаждения. Ухудшение в недопустимых пределах этих качеств покрытия приводит либо к браку продукции, либо требует дополнительных трудозатрат и дорогостоящих операций по устранению дефектов, например полирования.

Допустимое значение коэффициента пульсаций k_p определяется требованиями, предъявляемыми к физико-механическим свойствам покрытия, которые, в свою очередь, определяют его назначение (либо защитное, либо декоративное, либо работающее на износ и т. п.).

Особенно заметно влияние пульсаций тока на качество хромовых покрытий. Установлено, что заметное снижение блеска хромового покрытия начинается при $k_p = 20 \div 25\%$. При $k_p = 40\%$ покрытие становится матовым, а затем матово-серым. Твердость покрытия начинает снижаться при $k_p = 20 \div 25\%$. С учетом этих данных допустимым для хромовых покрытий является коэффициент пульсаций $k_p = 20\%$.

Для сглаживания пульсаций выпрямленного тока до уровня, допустимого по условиям эксплуатации, применяются сглаживающие фильтры.

Основные требования, предъявляемые к сглаживающему фильтру, следующие: фильтр не должен существенно изменять режим работы самого выпрямителя; фильтр должен обеспечивать заданную степень сглаживания тока на паузе во всех оговоренных режимах работы выпрямителя. Кроме того, к фильтру предъявляются технико-экономические требования (к массе, габаритам, стоимости, КПД и т. п.).

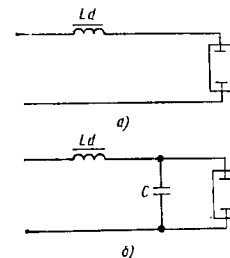


Рис. 1. Электрические индуктивные фильтры:

а — простейшие; б — Г-образные; L_d — дроссель; C — конденсатор

Наиболее широко в гальванотехнике применяются простейшие индуктивные (рис. 1, а) и Г-образные (рис. 1, б) фильтры.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ
ПАРАМЕТРОВ
ИСТОЧНИКОВ ТОКА

В схемах источников питания гальванических ванн нашли применение следующие варианты регулирования выходных параметров (тока, напряжения): изменение коэффициента трансформации питающего трансформатора или автотрансформатора путем подключения различного числа витков; прекращение первичной обмотки трансформатора с треугольника на звезду и обратно; включение последовательно с выпрямителем дросселя насыщения; использование выпрямителей на тиристорах; комбинирование перечисленных выше вариантов.

Регулируемые трансформаторы. При переключении первичной обмотки трансформатора со звезды на треугольник и обратно напряжение на выпрямителе изменяется в 1,73 раза. Такой метод регулирования является грубым, ступенчатым; он применяется лишь в сочетании с другими методами, обеспечивающими более плавное регулирование напряжения.

Достаточно плавное регулирование напряжения на выпрямителе осуществляется изменением коэффициента трансформации путем подключения

различного числа витков первичной обмотки трансформатора.

Коэффициент трансформации равен отношению чисел витков первичной W_1 и вторичной W_2 обмоток $K_{тр} = W_1/W_2$.

Вторичное напряжение трансформатора, а следовательно, и напряжение, подводимое к выпрямителю, U_2 , $U_1/K_{тр}$.

Изменяя число витков первичной обмотки трансформатора, можно регулировать выходное напряжение выпрямителя. Регулирование напряжения переключением обмотки со звезды на треугольник обычно применяется совместно с подключением различного числа витков, чем достигается относительно высокая плавность регулирования.

Недостатками этого метода являются ступенчатость в регулировании, наличие контактов, снижающих надежность установки и требующих систематического ухода, сложность автоматизации процесса.

Дроссели насыщения. Их недостатком являются большие габариты, масса и инерционность. Отечественной промышленностью серийно выпускался преобразователь типа ВАКГ с дросселем насыщения для питания гальванических ванн.

РЕВЕРСИРОВАНИЕ ТОКА В ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ВАННЕ

Одним из эффективных способов интенсификации гальванических процессов с одновременным улучшением качества гальванических покрытий является автоматическое реверсирование тока в ванне.

Осаждение металлов может осуществляться при более высокой рабочей плотности тока по сравнению с покрытием на токе одного направления. Это

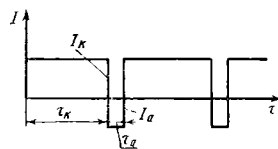


Рис. 2. График реверсивного тока: I_a , I_k соответственно анодный и катодный токи

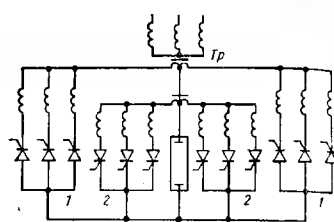


Рис. 3. Реверсивная схема на тиристорах с встречным включением схем выпрямления

обусловлено прежде всего регулярным выравниванием концентрации катионов в прикатодном слое и во всем объеме электролита в период анодной polarization покрываемых деталей, что также способствует анодному растению покрытия.

Таким образом, при реверсировании тока достигается повышение скорости осаждения металла и выхода по току, улучшение равномерности его распределения, уменьшение пористости, увеличение адгезии, снижение внутренних напряжений, наводороживания основы, повышение твердости. Осаждающиеся при этом кристаллы имеют более правильную геометрическую форму, а покрытия — мелкокристаллическую.

Периодичность перемены полярности реверсивного тока составляет 5—10 раз в минуту, причем длительность катодного периода T_k по отношению к анодному T_a составляет для различных видов покрытий от 5:1 до 10:1 (рис. 2).

В отечественных выпрямительных агрегатах реверс тока в ванне осуществляется с одновременным регулированием времени прохождения тока прямой и обратной полярности. Схема реверса тока выполняется обычно на логических элементах. Автоматическая смена полярности осуществляется по заданной программе, которая может перестраиваться.

На рис. 3 представлена реверсивная схема на тиристорах с встречным включением схем выпрямления. Прямой ток на ванну подается вентилями, входящими в выпрямитель 1, а обратный — вентилями выпрямителя 2.

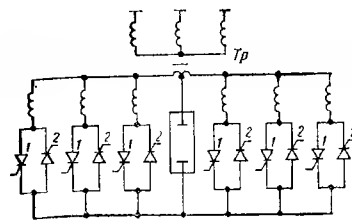


Рис. 4. Схема реверсивного преобразователя со встречно-параллельным включением тиристоров во вторичной цепи

При работе один из выпрямителей другой находится в запертом состоянии. Ввиду большой типовой мощности вторичных обмоток трансформатора Tr эта схема применяется сравнительно редко.

На рис. 4 представлена схема реверсивного преобразователя со встречно-параллельным включением тиристоров во вторичной цепи. Встречно-параллельно включенные тиристоры образуют два выпрямителя. В один из них входят вентили 1, а во второй — вентили 2. Отключение неработающего выпрямителя осуществляется снятием отпирающих импульсов со всех управляющих электродов.

ИСТОЧНИКИ ТОКА СПЕЦИАЛЬНОЙ ФОРМЫ

Сглаженный ток дают такие источники питания, как электромагнитные генераторы, а также многофазные выпрямители, снабженные фильтрами.

Значительный эффект в ряде технологических процессов в дает использование источников, позволяющих получать ток различных форм: импульсный (рис. 5, б), характеризующийся сравнительно малым и кратким временем импульса тока при большой его амплитуде I_m ; реверсивный (рис. 5, г), характеризующийся наличием сравнительно короткого интервала t_0 обратного тока; асимметричный (рис. 5, д), получаемый с помощью специальной схемы питания ванны, которая обеспечивает различие амплитуды прямого и обратного токов. Используются также пульсирующие токи (рис. 5, к).

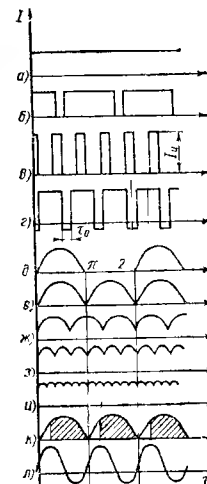


Рис. 5. Формы токов, используемые для питания гальванических ванн: а — непрерывный сглаженный; б — импульсный; в — реверсивный; г — однополупериодный; д — двухполупериодный; е — трехполупериодный; ж — шестиполупериодный; з — двенадцати-полупериодный; к — двухполупериодный с отсечкой; л — асимметричный

Применение для питания гальванических ванн токов специальной формы повышает эффективность процесса, поскольку позволяет в зависимости от вида гальванопокрытия значительно увеличить скорость электроосаждения, производительность процесса, получать покрытия с заданными физико-механическими свойствами, получать многослойные покрытия и т. п.

Для замера коэффициента пульсации и пользует схема, приведенная на рис. 6. Вольтметр V_2 электромаг-

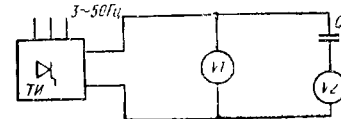


Рис. 6. Схема измерения коэффициентов пульсации: ТП — тиристорный преобразователь, V_1 , V_2 — вольтметры, C — конденсатор

нитной системы включен в цепь выпрямленного тока через конденсатор C . Вольтметр показывает действующее значение переменной составляющей выпрямленного напряжения (U_d). Вольтметр V_1 магнитоэлектрической системы показывает среднее значение выпрямленного напряжения U_d . Подставив измеренные значения U_d и U_d в формулу $k_d = U_d / U_d$, легко подсчитать величину k_d .

ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ НА КРЕМНИЕВЫХ И СЕЛЕНОВЫХ ВЕНТИЛЯХ

Во многих гальванических цехах эксплуатируются селеновые выпрямители типа ВАС, ВСМР на номинальное напряжение 6—24 В и силу тока до 5000 А с воздушным и масляным охлаждением. Недостаток их — отсутствие плавного регулирования напряжения и плотности тока.

Выпрямительные агрегаты типа ВАКГ с кремниевыми вентилями являются преобразователями с дросселем регулирования. В преобразова-

телях этого типа дроссель насыщается ДН включается послеовательно с силовым трансформатором. Технические характеристики агрегатов типа ВАКГ приведены в табл. 1. По сравнению с тиристорными агрегатами серии ВАКГ имеют большие габариты, массу; они хуже регулируются.

Агрегаты серий ВАК и ВАКР на тиристорах. Агрегаты выпрямительные на тиристорах серии ВАК и ВАКР предназначены для питания электролитических ванн гальванических цехов, оборудования электрохимической обработки металлов и др.

Агрегаты применяются для преобразования трехфазного переменного синусоидального тока частоты 50 Гц в постоянный.

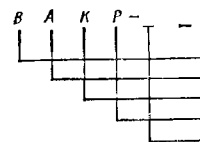
Агрегаты имеют ручное плавное регулирование выпрямленного напряжения; автоматическую стабилизацию выпрямленного напряжения; автоматическую стабилизацию тока; автоматическую стабилизацию плотности тока (точность стабилизации параметров $\pm 10\%$ от установленного значения).

1. Технические характеристики выпрямительных агрегатов серии ВАКГ с дросселями насыщения

Обозначение агрегата	Питающая сеть			Режим работы *	Выходная мощность, кВт	Выпрямленное напряжение, В	
	Напряжение, В	Частота, Гц	Число фаз			минимальное	номинальное
ВАКГ-18,9-320У4	380	50	3		7	16	18
							9
ВАКГ-12 6-63СУ4	380	50	3	1	7,6	8	12
					7	3	6
ВАКГ-12 6-1600У4	380	50	3	1	1		12
				2		3	6
ВАКГ-12 6-3200У4	380	50	3			8	12
				2	19,2	3	6

* Агрегаты имеют два режима работы.

Типовое обозначение агрегатов расшифровывается следующим образом:



Максимальное выпрямленное напряжение гальванических ванн составляет 1,1 В при номинальной нагрузке.

Выпрямительный агрегат на кремниевых вентилях реверсивный номинальный выпрямленный ток, А номинальное выпрямленное напряжение, В климатическое исполнение и категория размещения (атмосферное в герметизируемое помещение в условиях мерен го климата)

Агрегаты выпускаются в соответствии с ТУ 16.529.403—71.

Агрегаты серии ВАК и ВАКР изготавливаются 24 типов, на напряжение 6, 12, 18, 24 В и номинальный ток 100, 320, 640, 1600, 3200, 6300, 12 500, 25 000 А. Технические характеристики агрегатов приведены в табл. 2.

Агрегаты на напряжение 380 В мощностью до 75 кВт могут поставаться и на напряжение 220 В трехфазного тока по специальному требованию заказчика.

Реверсивные агрегаты серии ВАКР, кроме того, могут работать в следующих режимах; автоматическое реверси-

2

Выпрямительный ток, А	КПД, %	Коэффициент полезности	Вид охлаждения	Расход, м³/ч		Габаритные размеры, мм			Масса, кг
				воздуха	воды	Высота	Ширина	Глубина	
80	20	78	Воздушное принудительное	2000	—	1,55	744	0,49	300
		76							
168	30	81	То же	2000	—	1,55	744	0,496	650
		77							
400	1600	82	Воздушное и водяное	2000	От 0,1 до 0,2	1,667	0,8	0,842	850
		71							
800	3200	80	То же	2000	От 0,18 до 0,22	1,667	0,8	0,842	850
		71							

2. Технические характеристики выпрямительных агрегатов серий ВАК и ВАКР

Тип агрегата	Режим работы	Напряжение питания сети, В	Число фаз и питающей сети	Частота питающей сети, Гц	Номинальный выпрямленный ток, А	Номинальное выпрямленное напряжение, В	Потребляемая мощность, кВт·А	Номинальная мощность на выходе, кВт	Ограничивающий ток, А	Диапазон уставок стабилизатора тока, А	Диапазон уставок стабилизатора напряжения, В	Точность стабилизации выпрямленного тока и напряжения, %	Точность стабилизации мощности тока, %	Диапазон регулирования выпрямленного напряжения, В
ВАК-100-12У4	1	380±10 —38	3 с нулем	50	100	12	1,8 1,0	1,2 0,6	10—100	6—12 3—6	±10	±10	±10	0—12 0—6
ВАКР-100-12У4	1	380±10 —38	3 с нулем	50	100	12	1,8 1,0	1,2 0,6	10—100	6—12 3—6	±10	±10	±10	0—12 0—6
ВАК-100-24У4	1	380±10 —38	3 с нулем	50	100	24	3,6 2,0	2,4 1,2	10—100	12—24 3—12	±10	±10	±10	0—24 0—12
ВАКР-320-18У4	1	380±10 —38	3 с нулем	50	320	18	8,9 4,9	5,76 2,88	32—320	12—18 2—9	±10	±10	±10	Ручное регулирование отсут-ствует
ВАКР-630-12У4	1	380±10 —38	3 с нулем	50	630	12	12,1 7,6	7,56 3,78	63—630	12—12 2—6	±10	±10	±10	То же
ВАК-630-24У4	2	380±10 —38	3 с нулем	50	630	24	19,8 11,2	15,12 7,56	63—630	12—24 3—12	±10	±10	±10	0—24 0—12
ВАКР-630-24У4	2	380±10 —38	3 с нулем	50	630	24	19,8 11,2	15,12 7,56	63—630	12—24 3—12	±10	±10	±10	0—24 0—12

Продолжение табл. 2

Тип агрегата	Режим работы	Напряжение питания сети, В	Число фаз и питающей сети	Частота питающей сети, Гц	Номинальный ток, А	Номинальное выпрямленное напряжение, В	Потребляемая мощность, кВт·А	Номинальная мощность на выходе, кВт	Диапазон уставок стабилизатора тока, А	Диапазон уставок стабилизатора напряжения, В	Точность стабилизации выпрямленного тока и напряжения, %	Точность стабилизации мощности тока, %	Диапазон ручного регулирования выпрямленного напряжения, В
ВАК-630-48У4	1 2	380±10 —38	3 с нулем	50	630	48 24	28,4 19,6	30,24 15,12	63—630	24—48 3—24	±5	±10	0—48 0—24
ВАК-1600-12У4	1	380±10 —38	3 с нулем	50	1600	12	26 14,5	19,2 9,6	160—1600	6—12 3—6	±10	±10	0—12 0—6
ВАКР-1600-12У4	2	380±10 —38	3 с нулем	50	1600	12	26 14,5	19,2 9,6	160—1600	6—12 3—6	±10	±10	0—12 0—6
ВАК-1600-24У4	1 2	380±10 —38	3 с нулем	50	1600	24 12	53,5 30	38,4 19,2	160—1600	12—24 3—12	±5	±10	0—12 0—6
ВАКР-1600-24У4	2	380±10 —38	3 с нулем	50	1600	24 12	53,5 30	38,4 19,2	160—1600	12—24 3—12	±5	±10	0—12 0—6
ВАК-1600-48У4	2	380±10 —38	3 с нулем	50	1600	48	102 66	76,8 38,4	160—1600	24—48 3—24	±5	±10	0—24 0—12
ВАК-3200-12У4	1 2	380±10 —38	3 с нулем	50	3200	12	52 38	38,4 19,2	320—3200	6—12 3—6	±10	±10	0—48 0—24
ВАКР-3200-12У4	2	380±10 —38	3 с нулем	50	3200	12	52 38	38,4 19,2	320—3200	6—12 3—6	±10	±10	0—12 0—6
ВАК-3200-24У4	1 2	380±10 —38	3 с нулем	50	3200	24 12	102 55	76,8 38,4	320—3200	12—24 3—12	±5	±10	0—24 0—12

Продолжение табл. 2

Тип агрегата	Режим работы	Напряжение питания, В	Число фаз и нулевой провод	Число питающей сети	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Потребляемая мощность, кВт·А	Номинальная мощность на выходе, кВт	Область применения, А	Диапазон уставок стабилизированного выпрямленного напряжения, В	Частота стабилизации выпрямленного тока и напряжения, %	Частота стабилизации плотности тока, %	Диапазон рабочего напряжения, В
ВАКР-3200-24У4	1	380 ± 10 — 38	3 с нулем	50	3 200	4 12	107 55	76,8 38,4	320—3 200	12—24 3—12	± 5	10	0—24 0—10
ВАК-6300-12У4	2	380 ± 10 — 38	3 с нулем	50	6 300	12 6	106,3 54	75,6 37,8	630—6 300	5—12 3—6	± 5	± 10	0—12 0—6
ВАКР-6300-12У4	2	380 ± 10 — 38	3 с нулем	50	6 300	12 6	106,3 54	75,6 37,8	630—6 300	5—12 3—6	± 5	± 10	0—12 0—6
ВАК-6300-24У4	2	380 ± 10 — 38	3 с нулем	50	6 300	24 12	234 135	151,2 75,6	630—6 300	12—24 3—6	± 5	± 10	0—24 0—12
ВАК-12500-12У4	2	80 ± 10 — 38	3 с нулем	50	12 500	12 6	230 117	150 75	1 250— 12 500	6—12 2—6	± 5	± 10	0—12 0—6
ВАК-12500-24У4	2	6 вкл 10 кв ± 5%	3	0	12 500	24 12	361 210	300 150	1 250— 12 500	12—24 6—12	± 5	± 10	0—24 0—10
ВАК-25000-24У4	2	6 вкл 10 кв ± 5%	3	50	25 000	24 12	840 410	600 300	2 500—25 000	12—24 6—12	± 5	± 10	0—24 0—12
ВАКР-25000-48У4	2	6 вкл 10 кв ± 5%	3	50	25 000	48 24	1400 800	1200 600	2 500—25 000	24—48 12—24	10	10	— 4 0—4

Продолжение табл. 2

Тип агрегата	Режим работы	Диапазон уставок времени протекания выпрямленного тока и обратного напряжения, с	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент мощности	Схема выпрямления	Тип тиристоров	Количество тиристоров, шт.	Охлаждение тиристоров	Расход охлаждающей воды, м³/ч	Тип преобразовательного трансформатора	Охлаждение преобразователя	Воздушное охлаждение трансформатора	Гарантийный срок
ВАК-100-12У4	1	—	78 72	0,83 0,80	Трехфазная звезда с нулевым выводом	T-160-1Б	3	Воздушное естественное	—	—	Воздушное естественное	Воздушное естественное	Два года со дня пуска в эксплуатацию или 2,5 лет со дня отгрузки
ВАКР-100-12У4	1	1—240	78 72	0,83 0,8	То же	T-160-1Б	6	То же	—	—	То же	То же	То же
ВАК-100-24У4	2	—	84 80	0,83 0,82	То же	T-160-1Б	3	То же	—	—	То же	То же	То же
ВАКР-320-18У4	1	1—24	79 72	0,8 0,82	Трехфазная звезда	T-160-3Б-11	6	Воздушное принудительное	—	—	Воздушное принудительное	Воздушное принудительное	То же
ВАКР-630-12У4	1	1—24	81 77	0,84 0,8	Звезда—обратная звезда с нулевым выводом	T-160-3Б-11	12	То же	—	—	То же	То же	То же

Продолжение табл. 2

Тип агрегата	Режим работы	Длительность непрерывной работы, ч	Длительность непрерывной работы, ч	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент полезного действия, %	Схема включения	Тип тиристор	Количество тиристор, шт	Охлаждение тиристора	Расход охлаждающей воды, м³/ч	Тип преобразователя	Охлаждение преобразователя	Гарантийный срок, лет
ВАК-630-24У4	1	—	—	8	0,91	Звезда — звезда с уравнительным реактором	T-160-1-Б	12	Водяное	0,2	—	Воздушно-водяное	Два года со дня пуска в эксплуатацию свыше 3 лет со дня окончания
ВАКР-630-24У4	1	1—240	1—60	8	0,9	То же	T-160-2Б	12	То же	0,2	—	То же	То же
ВАК 630-48У4	2	—	—	9	0,91	—	T-160-2Б	6	—	0,2	—	—	—
ВАК-1600-12У4	2	—	—	9	0,87	—	T-160-3Б	18	—	0,43	—	—	—
ВАКР-1600-1 У4	2	1—240	0,1—60	8	0,8	—	T-160-3Б	36	—	0,43	—	—	—
ВАК-1600-24У4	2	—	—	82	0,90	—	T-160-2Б	18	—	0,3	—	—	—
ВАКР-1600-24У4	2	1—240	0,1—60	7	0,91	—	T-160-2Б	36	—	0,3	—	—	—

Продолжение табл. 2

Тип агрегата	Длительность непрерывной работы, ч		Коэффициент полезного действия, %	Схема включения	Тип тиристор	Количество тиристор, шт.	Охлаждение тиристор	Расход охлаждающей воды, л/ч	Тип преобразователя	Охлаждение преобразователя	Гарантийный срок, лет
	в сутки	в год									
ВАК-1600-48У4	1	—	—	Звезда — звезда с уравнительным реактором	T-160-2Б	18	Водяное	0,3	—	Воздушно-водяное	Два года со дня пуска в эксплуатацию свыше 3 лет со дня окончания
ВАК-3200-12У4	2	—	—	То же	T-160-3Б	36	То же	0,6	—	То же	То же
ВАКР-3200-1У4	1	1—240	0,1	71	0,92	—	T-160-3Б	72	—	0,6	—
ВАК 3200-12У4	—	—	—	84	—	—	T-160-3Б	6	—	0,6	—
ВАКР 3200-12У4	—	1—240	0,1	6	—	—	T-160-3Б	72	—	0,6	—
ВАК-6	1	—	—	4	0	—	T-160-3Б	—	—	0,6	—
ВАКР-6300-12У4	2	1—240	0,1	4	0	—	T-160-2Б	144	—	1,8	—

Продолжение табл. 2

Тип агрегата	Режим работы	Диапазон уставок времени срабатывания при коротком замыкании	Диапазон уставок времени срабатывания при перегрузке	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент мощности	Схема выпрямителя	Тип тиристоров	Количество тиристоров, т	Охлаждение тиристоров	Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	Лит. при охл. ватт	Охлаждение преобразователя	Параллельный срок
БАК-6300-24У4	1 2	—	—	88 78	0,86 0,86	Кольцевая	ТВ-800	12	Водяное	0,9	—	Воздушное естественное	Два года со дня пуска в эксплуатацию, но не свыше 2,5 лет со дня отгрузки
БАК-12500-12У4	1 2	—	—	81 66	0,88 0,88	Звезда—область звезды с уравнительным реактором	Т-160-2Б	144	То же	1	ТСЗПУ-500, 0,7Г	То же	То же
БАК-12500-24У4	1 2	—	—	88 76	0,87 0,87	То же	Т-160-2Б	144	»	3,5	ТНПУ-1000, 10Г	Сопловое	»
БАК-25000-24У4	1 2	—	—	88 80	0,9 0,9	»	ТВ-800У2-2Б	8	»	7,7	ТМПУ-2000, 10Г	Масляное	»
БАКР-25000-48У4	1 2	1—240	0,1—60	90 86	0,9 0,9	»	ТВ-800У2-2Б	96	»	15,4	ТМПУ-4000, 10Г	То же	»

Примечания. Агрегаты имеют два режима: режим 1 — соединение сетевой обмотки преобразовательного трансформатора звездой; режим 2 — соединение сетевой обмотки преобразовательного трансформатора треугольником.

рование выпрямленного тока; ручное реверсирование выпрямленного тока; длительная работа с любой полярностью выпрямленного тока.

Ориентировочный срок службы агрегатов 15—20 лет. Вероятность безотказной работы на протяжении 500 ч не ниже 0,75.

Агрегаты серий ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВН с выпрямленным напряжением 12—115 В и током 100—3150 А. В связи с возросшими требованиями к качеству гальванических покрытий и с развитием новых комплектующих изделий (силовых тиристоров, микросхем и т. п.) была разработана новая серия преобразователей типов: ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВН. В преобразователях новой серии существенно улучшены технические показатели — точность стабилизации плотности тока; снижены пульсации выпрямленного тока; предусмотрено дистанционное и программное управление выпрямителями.

Основные изменения в схемах выпрямителей новой серии следующие: перевод на новую элементную базу (интегральные схемы, операционные усилители, малогабаритные резисторы, печатный монтаж, резисторы и конденсаторы малых мощностей и габаритов и т. д.); применение силовых тиристоров с уменьшенными потерями (на низкомощном кремнии), что позволило повысить в большинстве агрегатов КПД на 1—1,5 %, а также уменьшить габаритные размеры благодаря исключению параллельного включения тиристоров; расширение применения водяного охлаждения для трансформаторов и совмещение в одном каркасе выпрямительных стоек и преобразовательного трансформатора; унификация схемных и конструктивных решений агрегатов и их узлов.

Агрегаты серии ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВН предназначены для питания гальванических ванн, станков электрохимической обработки металлов и других потребителей постоянного тока. Агрегаты рассчитаны на работу от сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В и частотой 50 Гц (для внутрисоюзных поставок). Агрегаты устанавливаются в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных помещениях.

Основные технические данные агрегатов по основному исполнению приведены в табл. 3.

Агрегаты имеют три вида автоматической стабилизации: выпрямительного тока и напряжения, плотности тока.

Диапазон стабилизированного тока в 1 и 2 режимах при изменении диапазона напряжения на нагрузке 10—100 %. Точность автоматической стабилизации, %: напряжения и тока +3; плотности тока ±6. Диапазон ручного регулирования тока и напряжения 10—100 %.

Для наладочных работ в агрегатах предусмотрено ручное регулирование выпрямленного тока и напряжения от нуля до номинальных значений.

Агрегаты имеют защиту, воздействующую на отключение, со световой сигнализацией: от коротких замыканий постоянного, переменного и сверхтоков (более двойного номинального значения); от перегрузок по току при сверхтоках (1,1 номинального значения) с обратной зависимой токовой характеристикой; от перегрева силовых тиристоров.

Контроль температуры нагрева корпуса тиристоров осуществляют терморезисторы. При превышении допустимой температуры агрегат отключается от сети.

Реверсивные агрегаты по волюют получать постоянный ток с автоматической и ручной сменой его полярности. При автоматической смене полярности постоянного тока установки длительности составляют: 2—200 с прямого тока, 0,2—20 с обратного тока. Дискретность установки для прямого тока 2 с, для обратного 0,2 с. В агрегатах предусмотрена раздельная установка значений постоянных тока и напряжения каждого направления.

При несходности резе сив а агрегат может длительно а ог ть с током любой полярности, а также формировать импульсный односторонний (прямой) ток. При этом установка длительно ти прямого тока будет оответствовать длительно сти импуль а, а установка обратного тока — длительно сти паузы между импульсами.

Временное переключение прямо о и обратного тока производится переключателями, расположенными на блоке управления.

ОХРАНА ТРУДА
В ГАЛЬВАНИЧЕСКОМ
ПРОИЗВОДСТВЕ

Основные научные и практические проблемы инженерной охраны труда нашли отражение в системе стандартов безопасности труда (ССБТ). Внедрение ее в производство необходимо для обеспечения безопасности труда, увеличения эффективности производства, повышения качества, ускорения научно-технического прогресса и совершенствования научной организации труда.

Система охраны труда в гальваническом производстве основывается и осуществляется в соответствии с правовыми требованиями законодательных актов к которым, в первую очередь, относятся ССБТ.

Издания в справочнике краткие сведения по охране труда предназначены для облегчения ориентации в проблеме инженерно-технических решений, оптимизации параметров условий труда в соответствии с требованиями ССБТ.

СИСТЕМА СТАНДАРТОВ
БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Основу нормативно-технической документации по охране труда (с 1974 г.) составляет ССБТ — комплекс взаимосвязанных стандартов, предусматривающих обеспечение безопасности труда в частности в гальваническом производстве.

Структура кодирования обозначений стандартов ССБТ состоит из цифровых и буквенных символов, разделенных на пять групп:

группа символ	1 ГОСТ	11 12	111 2
	а	б, в	г
группа символ	1X 003	V 74	
	д, е, ж	з, и	

здесь а — индекс по ГОСТ 1.2—68* и ГОСТ 1.3—68* (г. е. ГОСТ, ОСТ, РСТ, СТП); б, в — класс (в данном случае 12 — означает принадле-

жность к ССБТ); г — код классификационной группировки (табл. 1); д, е, ж — порядковый номер в Группировке; з, и — год регистрации.

ССБТ предлагает единую терминологию и определения основных понятий в области охраны труда и устанавливает обязательность их применения в документах всех видов, в том числе технической документации гальванических производств.

По современной терминологии ССБТ (ГОСТ 12.0.002—80) охрана труда — система законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических и организационных мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Охрана труда включает подсистемы техники безопасности и производственной санитарии, предназначенные соответственно для предотвращения воздействия на работающих опасных, приводящих к травматизму, и вредных, приводящих к профессиональным заболеваниям, производственных факторов.

1. Классификационные группировки
ССБТ

Код классификационной группировки	Наименование классификационной группировки
1	Основнополагающие государственные стандарты Государственные стандарты общих требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов
2	Стандарты общих требований безопасности к производственному оборудованию
3	Стандарты общих требований безопасности к производственным процессам
4	Стандарты требований к средствам защиты работающих

Безопасность труда — состояние условий труда, при котором исключено воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов. Безопасность труда достигается рекомендациями ССБТ.

Согласно ССБТ должны быть разработаны стандарты предприятий по безопасности труда (СТП) с учетом конкретных сложившихся специфических

условий.

Основная нормативно-техническая документация ССБТ, необходимая для решения практических инженерно-технических задач техники безопасности и производственной санитарии, улучшения условий труда в гальванических производствах, представлена в табл. 2 в последовательности классификационных группировок.

2. Основные ГОСТ системы стандартов безопасности труда
для гальванических производств

Основнополагающие стандарты	
ГОСТ 12.0.002—80 (СТ СЭВ 1084—78) ГОСТ 12.0.003—74* (СТ СЭВ 790—77) ГОСТ 12.0.004—79	Основные понятия. Термины и определения Опасные и вредные производственные факторы. Классификация Организация обучения работающих безопасности труда. Общие положения
Стандарты общих требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов	
ГОСТ 12.1.001—83 ГОСТ 12.1.003—83 ГОСТ 12.1.004—76* ГОСТ 12.1.005—76 ГОСТ 12.1.007—76* ГОСТ 12.1.009—76 ГОСТ 12.1.010—76* ГОСТ 12.1.11—78* ГОСТ 12.1.112—78* ГОСТ 12.1.013—78*	Ультразвук. Общие требования безопасности Шум. Общие требования безопасности Пожарная безопасность. Общие требования Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности Электрическая безопасность. Термины и определения Взрывобезопасность. Общие требования Смеси взрывоопасные. Классификация Взрывчатые вещества. Общие требования безопасности Стрельба. Электрооборудование. Общие требования
Стандарты общих требований безопасности к производственному оборудованию	
ГОСТ 12.2.0 —74* (СТ СЭВ 10 —78) ГОСТ 12.2.0.1—75* ГОСТ 12.2.007.12—75 ГОСТ 12.2.007.13—75 ГОСТ 12.2.0.9—80* ГОСТ 12.2.012—75 ГОСТ 12.2.0.10—76* ГОСТ 12.2.029—77 ГОСТ 12.2.03—78 ГОСТ 12.2.03 —78	Оборудование производственное. Общие требования безопасности Изделия электротехнические. Общие требования безопасности Источники тока химические. Требования безопасности Изделия светотехнические. Требования безопасности Станки металлообрабатывающие. Требования безопасности Приспособления для безопасного производства работ. Общие требования Электрооборудование взрывоопасное. Классификация. Маркировка Приспособления станочные. Общие требования безопасности Рабочее время при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования
Стандарты общих требований безопасности к производственным процессам и средствам защиты работающих	
ГОСТ 12.3.001—7* ГОСТ 12.3.002—75* (СТ СЭВ 1728—79) ГОСТ 12.3.003—75 ГОСТ 12.3.004—75* ГОСТ 12.3.0 —7* ГОСТ 12.3.006—75 ГОСТ 12.3.008—75 ГОСТ 12.3.009—76*	Инженерия ды. Общие требования безопасности Процессы производственные. Общие требования безопасности Работы электросварочные. Общие требования безопасности Термическая обработка металлов. Общие требования безопасности Работы окрасочные. Общие требования безопасности Эксплуатация водопроводных и канализационных сооружений и сетей Производство покрытий металлических и неметаллических неорганических. Общие требования безопасности Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности

Продолжение табл. 3

Технологическая операция	Характеристика процесса	Оборудование	Потенциально опасные и вредные факторы
Электрическое оборудование	Преобразование переменного тока в постоянный	Электрическое оборудование переменного тока	Электроопасность
Подготовка деталей к покрытию (этап II)			
Механическая очистка: ручным и механизированным инструментом	Механическое разрушение и удаление загрязнений	Скребок, щетки, наждачные абразивы, шлифовально-полировальные станки: одно- и двухшпиндельные ленточные, ручные, специальные	Систематические физические нагрузки на человека с повышенными затратами энергии и утомляемостью. Повышенные запыленность воздуха, уровень шума и вибрации. Движущиеся, вращающиеся механизмы.
Гидроабразивная (дробеструйная), гидроабразивная	Воздействие кинетической энергии абразивных частиц, движущихся в струе воздуха или жидкости	Дробеструйные камеры и камеры абразивной очистки для ручной, механизированной, автоматизированной обработки	Повышенные запыленность воздуха и уровень шума. При ручной обработке повышенные физические нагрузки.
Дробеструйная	Воздействие кинетической энергии мушкетной или стальной дроби при больших скоростях, создаваемых быстро вращающимся ротором	Дробеструйные установки, турбинные и проходные камеры периодического и непрерывного действия	Повышенные запыленность воздуха и уровень шума.
Жидкостно-брашиная (галтовка)	Взаимное трение между деталями и абразивным наполнителем	Галтовочные барабаны, механизированные и автоматизированные линии	Повышенные запыленность воздуха и уровень шума.
Виброабразивная	Химико-механический процесс металла частицами рабочей среды, колеблющимися и совершающими перемещения	Вибрационные установки мех. приводом, виброцилиндры, виброполы	Повышенные запыленность воздуха, уровень шума и вибрации.
Струйная очистка: пароводоструйная	Ударное действие струй в сочетании с температурой пара и обработкой мощными средствами	Пароводоструйные установки стационарные и передвижные	Повышенная влажность воздуха и уровень шума.
Гидродинамическая	Комплексное воздействие нагретой струи большой гидродинамической мощности, высокой температуры в мощных средствах	Машины, камеры мощные, турбинные, проходные и проходные секционные	Повышенный уровень шума.
Погружная очистка: турбулентная	Совместное интенсивное воздействие турбулентности потоков очищающей среды, температуры, физико-химической активации и колебательно-вращательных перемещений объекта	Погружные установки с колеблющимися платформами, конвейерные, роторные мощные машины	Повышенные выделения вредных веществ в воздух, уровень шума.

Продолжение табл. 3

Технологическая операция	Характеристика процесса	Оборудование	Потенциально опасные и вредные факторы
Ультразвуковая	Ультразвуковые явления в течениях, акустических течениях, давлении звукового поля, звукоаппаратного эффекта в растворах органических растворителей	Ультразвуковые мощные машины, ванны с различными типами излучателей и генераторов ультразвука стационарные, полуавтоматические, автоматические	Повышенные выделения вредных веществ в воздух, уровень ультразвука.
Электрохимическая	Выделение H_2 или O_2 на поверхности детали, способствующих обезжириванию и отрыву загрязнений при катодной поляризации. Воздействие ударных волн, импульсных высоковольтных электрических разрядов в ванночках.	Установки электрохимического обезжиривания.	Повышенные взрывоопасность, выделения вредных веществ в воздух.
Электродинамическая	Воздействие ударных волн, импульсных высоковольтных электрических разрядов в ванночках.	Электрогидравлические установки.	Повышенные уровни шума, выделения вредных веществ в воздух.
Физико-химическая	Физико-химическая активация растворов и удаления загрязнений эмульгирующими мощными средствами, поверхность активными и химически-активными веществами, органическими растворителями.	Установки с ваннами различного типа, стационарные, полуавтоматические, автоматические.	Повышенные выделения вредных веществ в воздух, пожароопасность.
Паровая	Смывание загрязнений при многократной конденсации горячих паров растворителей на поверхности.	Одно- и многосекционные, стационарные, полуавтоматические и автоматические установки очистки в парах растворителя.	Повышенные выделения вредных веществ в воздух.
Нанесение электрохимических и химических покрытий (этап III)			
Электрохимическое покрытие	Катодное восстановление металлов и сплавов на поверхности детали в растворах электролитов.	Стационарные, полуавтоматические, автоматические линии с ваннами различного типа.	Повышенные выделения вредных веществ в воздух, взрывоопасность, влажность воздуха, уровень шума, вибрация, ультразвук.
Химическое покрытие	Осаждение покрытий на поверхности металлов при химических реакциях восстановления металлов из растворов.	Полуавтоматические, автоматические линии со стационарными ваннами различного типа.	Повышенные выделения вредных веществ в воздух, влажность воздуха, уровень шума.
Отделка деталей после покрытия (этап IV)			
Механическое полирование	Механическое уменьшение шероховатости поверхности до зеркального блеска.	Шлифовально-полировальные станки, полуавтоматы и автоматы.	Повышенные запыленность воздуха, металлоосаждения частицами, уровень шума. Движущиеся, вращающиеся механизмы.
Химическое и электрохимическое полирование	Сглаживание шероховатости поверхности, глянцевание, заполнение неровностей продуктами химических и электрохимических реакций.	Оборудование с ваннами различного типа.	Повышенные выделения вредных веществ в воздух.

(температура наружного воздуха ниже 10°C) температура для работ категории На должна быть равна $17-23^{\circ}\text{C}$; для категории НВ — $15-21^{\circ}\text{C}$; относительная влажность должна быть не более 75 %, скорость движения воздуха — не более 0,3 м/с для работ категории На или 0,4 м/с — для категории НВ. В теплый период года температура должна быть не более чем на 3°C выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца, но не более 31°C ; относительная влажность при $28-31^{\circ}\text{C}$ не более 55 %; при 27°C — не более 60 %; при 26°C — не более 65 %; при 25°C — не более 70 %; при 24°C и ниже — не более 75 %; скорость движения воздуха должна быть 0,2–0,5 м/с (большая скорость соответствует максимальной температуре воздуха, меньшая — минимальной).

В гальваническом производстве имеется ряд источников акустических и механических колебаний с широким спектром частот и уровней звукового давления, превышающим ПДУ ультразвука (по ГОСТ 12.1.001–83), шума (по ГОСТ 12.1.003–83), вибрации (по ГОСТ 12.1.012–78*).

Источником шумового загрязнения среды и вибрации являются механические шумы, возникающие при соударении трении деталей машин и механизмов аэрогидродинамические шумы при движении газовых потоков в вентиляционной системе, жидкостей при гидравлических процессах, электромагнитные шумы в электротехнических машинах при взаимодействии магнитных сил с ферромагнитными массами. Существенные шумы на организм человека отличаются многообразием воздействия неблагоприятного влияния на центральную нервную систему, сосудистую и мышечную системы. Шум, как общебиологический раздражитель, быстро утомляет работающих, снижает работоспособность, производительность труда, тормозит реакции на опасные ситуации. При систематическом воздействии вызывает необратимые органические поражения слухового нерва — тугоухость.

Общая вибрация вызывает деформацию органов и тканей человека, сопровождается изменением функционального состояния организма, при-

водит к патологическим изменениям нервно-мышечного, опорно-двигательного аппарата, сосудистым расстройствам — вибрационной болезнью. Состояние вибрации приводит к болезненным изменениям рук (симптом «мертвого пальца»).

Общее воздействие ультразвука имеет много общего с воздействием высокочастотного шума. Особенности проявляется в чрезмерном повышении утомляемости, раздражительности, головокружении. Локальное воздействие ультразвука (аналогично гиперини) приводит к пораженению периферического нервного и сосудистого аппарата пальцев, кистей рук и предплечья.

Особенно вредно комбинированное (одновременное) воздействие шума, ультразвука и вибрации.

Борьба с ультразвуком (ГОСТ 12.1.001–83), шумом (ГОСТ 12.1.003–83), вибрацией (ГОСТ 12.1.012–78*) и защита от них достигается проведением следующих мероприятий:

ослаблением этих факторов в источнике возникновения (замена ударных взаимодействий безударными; возвратно-поступательными — вращательными; демпфированием и использованием менее звуковых движущихся деталей; улучшением аэрогидродинамического обтекания и т. д.);

снижением факторов по пути распространения (строительные акустические, общепромышленные меры по раме шумоизоляции оборудования в отдельных, удаленных, изолированных помещениях; использование звуко- и теплопоглощающих и оглушающих материалов и экранов и т. д.); автоматизацией и дистанционным управлением;

индивидуальной защитой в тех случаях, когда технические средства не позволяют снизить уровень шума и вибрации по ПДУ.

Отличительная особенность технологии гальванопокрытия связана с насыщенностью разнообразными химическими веществами (более 400 многокомпонентных рецептур электролитов и растворов других назначений). Многие химические вещества оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека, вызывая нарушение

его нормальных функций различной тяжести. Последствия опасны для здоровья, а в некоторых случаях и для жизни.

Оценка уровня концентрации вредных веществ связана с понятием предельно допустимых концентраций (ПДК). ПДК — это максимальная концентрация вредного вещества, которая не вызывает патологических изменений у работающего в течение всей жизни, гетерогенных последствий у потомства, определяемых с помощью самых чувствительных современных методов.

ПДК — обязательные санитарные нормы для использования при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования и вентиляции, а также предупредительного и текущего санитарного надзора. ПДК химических веществ, применяемых в гальваническом производстве, нормируются ГОСТ 12.1.005–76.

Внедрению в производственную технологию новых химических веществ с неизвестными ПДК должны предшествовать медико-биологические исследования по установлению этого параметра. Обоснование неизвестных ПДК сложно, трудоемко и длительно.

Обслуживающий персонал гальванических цехов постоянно контактирует с токсичными химическими веществами, как правило, относящимися (ГОСТ 12.1.007–76*) к классу 1 — чрезвычайно опасных (ПДК менее $0,1 \text{ мг/м}^3$) и классу 2 — высокоопасных (ПДК $0,1-1,0 \text{ мг/м}^3$) веществ по воздействию на организм человека.

В новых нормах ГОСТ 12.1.005–76 перечень ПДК вредных веществ в воздухе производственных помещений значительно расширен (до 750 наименований).

Главная причина загрязнения воздуха — несовершенство технологических процессов и негерметичность производственного оборудования. Известно, что значительные загрязнения воздушной среды даже на современных крупных производствах наблюдаются в отделениях приготовления электролитов при операциях дозирования, смешения, растворения сырьевых компонентов.

Методы борьбы с токсичными промышленными веществами в гальванических цехах должны быть отображены в стандартах предприятия по безопасности труда (СТП) согласно ССБТ (ГОСТ 12.1.007–76). При производстве, применении и хранении вредных веществ предусматривают следующие комплексные мероприятия:

замкнутому вредным веществам в производстве наименее вредным, сухих способов переработки пылящих материалов — мокрой;

ограничение соприкосновения с вредными веществами в исходных и конечных продуктах;

применение прогрессивной технологии производства (замкнутый цикл, автоматизация, комплексная механизация, дистанционное управление, непрерывность процессов производства, автоматический контроль процессов и операций), исключающей контакт человека с вредными веществами;

выбор соответствующего производственного оборудования и коммуникаций, не допускающих выделения вредных веществ в воздух рабочей зоны, в количествах, превышающих ПДК при нормальном ведении технологического процесса, а также правильную эксплуатацию санитарно-технического оборудования и устройств (отопления, вентиляции, водопровода, канализации);

рациональную планировку промышленных площадок, зданий, помещений;

применение специальных систем по улавливанию и утилизации газовоздушной смеси, содержащей вредные вещества, рециркуляцию вредных веществ и очистку от них технологических выбросов, нейтрализацию отходов производства, промывочных и сточных вод;

применение средств дезагрегации, активации и пассивации среды в взрывозащиты и взрывозащиты; контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны; включение в стандарты или технические условия на сырье, продукты и материалы технологических регламентов токсикологических характеристик вредных веществ;

применение средств индивидуальной защиты работающих; специальную подготовку и инструктаж обслуживающего персонала;

4. Потенциально опасные и вредные факторы гальванического производства и технические средства инженерной охраны труда для их предотвращения

Потенциально опасные и вредные факторы	Характеристика факторов	Нормативная техническая документация	Технические средства охраны труда
Физические факторы Механические: движущиеся части оборудования	Травмоопасность, баллы	ГОСТ 12.2.003—74 *	Ограничительные, защитные, предохранительные и т.п.
Микроклимат: температура воздуха	Теплоопасность, °С	ГОСТ 12.1.005—76	Вентиляция, отопление
влажность	Благоприятность, %		Кондиционирование
подвижность	Скорость движения, м/с		
Освещенность: естественная	Уровень освещенности (кео *)	СНиП 11-4—79	Светотехнические
искусственная	То же, лк		
Шум	Частота октавных полос, Гц Уровень звукового давления, дБ Уровень звука, дБ А	ГОСТ 12.1.003—83	Шумозащитные
Ультразвук	Частота октавных полос, Гц Уровень звукового давления, дБ	ГОСТ 12.1.001—83	Шумозащитные
Вибрация	Частота октавных полос, Гц Амплитуда, мм Уровень виброскорости, дБ	ГОСТ 12.1.012—78 *	Виброзащитные
Электричество	Частота, Гц Напряжение, В Сила тока, А	ГОСТ 12.1.009—76 ГОСТ 12.1.013—78 *	Электробезопасность Индикация Земля
Пожароопасность	Температура вспышки, °С Нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения, %	ГОСТ 12.1.004—76 *	Пожарабезопасности
Взрывоопасность	Температура самовоспламенения, °С Безопасная концентрация максимального зазора, мм	ГОСТ 12.1.010—76 * ГОСТ 12.1.011—78 *	Взрывабезопасности
Химические факторы Вредные вещества: пары, газы, аэрозоли	Концентрация, мг/м³ Размер частиц, мкм	ГОСТ 12.1.007—76 * ГОСТ 12.1.006—76	Вентиляция Пылегазозащитные Индивидуальная защита

Продолжение табл. 4

Потенциально опасные и вредные факторы	Характеристика факторов	Нормативная техническая документация	Технические средства охраны труда
Психофизиологические факторы: Физическая перегрузка (статическая и динамическая)	Энерготраты, Дж/с Механическая работа, Дж Мощность работы, Вт	ГОСТ 12.1.005—76 ГОСТ 21034—75 ГОСТ 21033—75	Вентиляция Пылегазозащитные Индивидуальная защита
рабочая поза нервно-психическая перегрузка	Удобство при работе Интеллектуальная нагрузка, баллы		

Примечание. Название ГОСТа — см. в табл. 2.

* Кео — коэффициент естественной освещенности.

проведение предварительных и периодических медицинских осмотров лиц, имеющих контакт с вредными веществами.

Оптимизация условий труда в гальванических цехах связана с устранением потенциально опасных и вредных факторов и необходима для обеспечения наилучшей работоспособности, хорошего самочувствия и сохранения здоровья человека в процессе труда.

Оптимизация достигается методами и средствами инженерной охраны труда. Применяются три группы методов и средств обеспечения безопасности труда: исключющие контакт человека с опасными вредными производственными факторами путем автоматизации, механизации и дистанционного управления; согласующие характеристики производственной среды с характеристиками человека; обеспечивающие адаптацию, естественные защитные свойства организма к условиям окружающей среды.

Для предотвращения (исключения) воздействия на человека опасных и вредных производственных факторов используются основные и вспомогательные технические средства техники безопасности и производственной санитарии, выполненные в виде устройств, установок, аппаратов, оборудования, сооружений.

При обосновании в процессе проектирования выбора направления технических мероприятий, методов и средств их осуществления, выбора

технического процесса и производственного оборудования предпочтение следует отдавать варианту, который наряду с обеспечением экономичности производства и высокого качества продукции в большей степени отвечает обеспечению безопасных и безвредных условий труда.

В табл. 4 представлены характеристики основных потенциальных опасных и вредных факторов гальванического производства и технические средства инженерной охраны труда для предотвращения их воздействия на работающих.

Безопасность техники и технологии гальванического производства обеспечивается поддержанием в строго нормированных пределах всех физико-химических параметров процессов: массы исходного сырья, промежуточных продуктов, металлов и отходов, скорости их перемещений, объема, давления и температуры на различных стадиях технологии. Отклонения одного или тем более нескольких параметров за нормированные пределы повышают вероятность возникновения опасных ситуаций (травм, острых отравлений, аварий).

Пожарная безопасность гальванического производства обеспечивается системами предотвращения пожаров и пожарной защитой (ГОСТ 12.1.004—76*), взрывобезопасность — мерами взрывопредохранения и взрывозащиты (ГОСТ 12.1.010—76*).

НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ОХРАНА ГИДРОСФЕРЫ

В машиностроительной промышленности расходуется ~10 % свежей воды, потребляемой всей промышленностью народного хозяйства, и из этого количества около половины идет на промывку деталей после гальванической обработки (на 1 м² гальванопокрытия требуется 0,5—1 м³ деминерализованной воды).

Ежегодная потребность гальванического производства в пресной деминерализованной воде приближается к 5 км³. С учетом тенденции возрастания мощности гальванического производства к 2000 г. особо актуальной будет проблема охраны гидросферы — сокращения водопотребления и перехода к экологической технологии электрохимических покрытий.

Ближайшая цель совершенствования гальванического производства состоит в создании малоотходной экологической технологии, развивающейся по направлениям:

снижение металлоемкости (расхода металлов, идущих на металлопокрытия), энергоемкости (расхода электроэнергии на электрохимические процессы), водоемкости (расхода воды, как все более дефицитного и дорогостоящего минерального сырья);

минимизация отходов производства, сточных вод и содержания в них извлекаемых компонентов;

замена токсичных реагентов и отходов на менее опасные с более высоким порогом биологического воздействия;

замена не утилизируемых отходов на утилизируемые;

переработка загрязняющих опасных и вредных отходов химическими, физическими и биологическими методами до полной трансформации в безвредные продукты.

Первоочередная задача технологии гальванических покрытий связана с методами обезвреживания сточных вод. Предпочтительны такие технологические методы и способы гальванотехники и очистки сточных вод, при которых достигается минимальный расход цветных металлов и минимальное воздействие на окружающую среду.

В гальваническом производстве вода расходуется на разные технологические цели и загрязняется различными компонентами.

По характеру использования воды в гальваническом производстве применяют следующие типы систем водоснабжения: прямоточную, оборотную, смешанную. В прямоточной системе отработавшая в производственном процессе технологически загрязненная сточная вода после обезвреживания до требуемых ПДК возвращается (канализируется) в естественные водоемы. В оборотной системе сточные воды после обезвреживания и очистки от загрязнений повторно возвращаются в производственный процесс.

Очистка сточных вод гальванического производства. Сточные воды гальванического производства различают по составу загрязнений, режиму сброса и концентрации. По составу загрязнений сточные воды делятся на группы: кислотно-щелочные, хромсодержащие, хромсодержащие, содержащие соли тяжелых металлов (табл. 1).

По режиму сброса и концентрации сточные воды делятся на постоянно поступающие разбавленные воды после промывки деталей и периодически сбрасываемые из основных ванн отработанные концентрированные электролиты. Концентрация загрязняющих веществ в отработанных электролитах в 100—1000 раз больше, чем в разбавленных промывных водах, а объемы во много раз меньше.

Химический состав и концентрация сточных вод гальванического произ-

1. Классификация сточных вод гальванических цехов по химическому составу загрязнений

Группа сточных вод	Основные технологические процессы образования сточных вод	Состав загрязнений	pH ст-ды
Кислотно-щелочные: кислотные	Предварительное травление, кислотное меднение, никелирование, цинкование, обезжиривание	H ₂ SO ₄ , HCl, HNO ₃ , H ₃ PO ₄ и др.	<6,5
щелочные		NaOH, KOH, Ca(OH) ₂ и др.	>8,5
Содержащие соли тяжелых металлов	Поверхностная металло-обработка и нанесение гальванопокрытий	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Zn ²⁺ , Cd ²⁺ , Cu ²⁺ , Al ³⁺ и др.	<6,5
Циансодержащие	Цианное меднение, цинкование, кадмирование, серебрение	KCN, NaCN, CuCN, Fe(CN) ₂ , [Cu(CN) ₂] ⁻ , [Cu(CN) ₃] ²⁻ , [Cu(CN) ₄] ³⁻ , [Zn(CN) ₄] ²⁻ , [Fe(CN) ₆] ⁴⁻ и др.	2,8—11,5
Хромсодержащие	Хромирование, пассивация, травление деталей из стали и медных сплавов, оцинкование, кадмирование, электрохимическое анодирование деталей из алюминия, электропассивирование стальных деталей	Соединения Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺ , Zn ²⁺ , Cu ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ и др.	2,3—8,8

водства изменяются в зависимости от назначения металлопокрытия, уровня совершенства технологии и оборудования. Основными компонентами загрязнения сточных вод являются высокотоксичные соединения тяжелых металлов и цианиды. Около 40 % стоков гальванического производства составляют хромсодержащие сточные воды.

Отработанные концентрированные электролиты сбрасываются в специальные емкости для обезвреживания. Растворы, содержащие кислоты и щелочи, используются как реагенты для нейтрализации. Хром- и циансодержащие, а также растворы цинков тяжелых металлов должны регенерироваться и вновь возвращаться в производство.

Основное количество воды в гальванических цехах расходуется для промывки деталей, которая в значительной мере предопределяет качество и надежность гальванопокрытий и составляет 90—95 % общей потребности в воде. Поэтому уменьшение потребляемой воды связано главным образом с эффективностью технологии промывки.

При выгрузке деталей из каждой гальванической ванны микроперепад их поверхности способствует захвату значительных количеств концентрированного раствора электролита. Перед

последующей операцией поверхность должна быть тщательно промыта.

Содержание загрязнений в промывной воде зависит от объема, концентрации и вязкости раствора электролита, захватываемого поверхностью обрабатываемой детали, шероховатости поверхности детали и от других факторов.

Сокращение расхода воды достигается каскадно-проточной системой, позволяющей не только улучшить качество промывки, но и вернуть в производство ценные компоненты. Обычные каскадные ванны требуют значительных производственных площадей, поэтому перспективными следует считать многоступенчатые струйные установки, имеющие во много раз меньшие габариты.

Экономное водопотребление может быть также осуществлено путем уменьшения концентрации вредных веществ в сточных водах:

снижением выноса электролита из основной ванны с помощью технических мероприятий;

применением непроточных ванн улавливания, растворов которых после достижения предельных концентраций возвращается в основную технологическую ванну для восполнения потерь выноса и испарения;

ных сил (подгруппы 1.1.1.—1.1.3; 1.1.7 (см. в табл. 3) и центрифугирования в поле центробежных сил (подгруппа 1.1.5). Устройства и аппаратура для механической очистки имеют множество различных конструктивных модификаций (решетки, сита, отстойники, центрифуги, гидроциклоны).

Процеживание применяется для отделения крупных частиц размером более 15 мм на механических решетках: вертикальных, наклонных, решетчат-дробилках. Отстаивание грубодисперсных суспензий, образуемых при различных способах механической струйной, погружной очистки деталей на стадии подготовки для гальванопокрытий, производится в песколовках, отстойниках. Явление оседания или всплывания нерастворимых в водной среде примесей взвеси, эмульсии масел, нефтепродуктов широко используется в практике очистки сточных вод.

Второй этап очистки сточных вод, вагряченных гомогенными растворимыми молекулярными и ионными соединениями, осуществляется сочетанием методов выделения и превращения примесей (см. табл. 3). Эффективное использование на этом этапе методов ионнообменного, гиперфильтрации, электролиза возможно только после предварительной тщательной очистки сточных вод от гетерогенных примесей.

4. Основные методы очистки сточных вод гальванических отделений

Методы	Химический состав сточных вод			
	кислотность	содержание солей тяжелых металлов	содержание железа	хром-содержание
Реагентные	+	+	+	+
Ионнообменные	+	+	+	+
Электрохимические:				
электролиз	+	—	+	+
электрокоагуляция	+	—	+	+
Мембранные:				
электролиз	—	+	+	—
гиперфильтрация	—	—	—	+
обратный осмос	—	—	—	+
ультрафильтрация	—	—	—	+
Сорбционные	—	—	—	+
Термические	—	—	—	—
Биохимические	—	—	—	—

Примечание. «+» — используются для очистки; «—» не используются.

Основные физико-химические методы окислительной очистки сточных вод сгруппированы в табл. 4 с учетом химического состава. В табл. 4 указана целесообразность оптимального и эффективного использования различных методов. Целесообразность выбора того или иного метода и схемы очистки сточных вод гальванических отделений зависит от состава, концентрации и объема стоков, медико-биологических и технологических требований к очищенной воде, необходимости регенерации, утилизации и повторного использования воды и ценных компонентов, требующихся материальных и энергетических ресурсов, экологических показателей и соответствия определенному уровню экологических требований.

Технические и экономические требования к степени и критериям очистки сточных вод в первую очередь зависят от типа системы водоснабжения гальванических производств. В прямоточных (незамкнутых) системах сбрасываемые в канализацию сточные воды должны соответствовать медико-биологическим нормам ПДК. В оборотных (замкнутых) системах допускается менее жесткая очистка до технически допустимых концентраций для повторного применения воды в технологических процессах.

Наиболее радикальным и перспективным направлением охраны гидро-

сферы следует считать путь внедрения систем оборотного водоснабжения каждого промышленного узла с многократным использованием воды и утилизацией ценных отходов производства. Замкнутые системы существенно снижают расход свежей воды, предупреждают попадание вредных веществ в водоемы.

Создание водооборота в гальваническом производстве может быть достигнуто комплексным использованием нескольких методов.

Все методы очистки сточных вод могут быть осуществлены по периодической или непрерывной схеме технологического процесса. Условной границей экономически рационального перехода к непрерывной технологии служит объем сточных вод 10—30 м³/ч.

Реагентный метод очистки позволяет обезвреживать примеси самого разнообразного состава до ПДК. Широкая область применения и относительная технологическая простота обработки сточных вод обусловили наибольшее распространение модификаций реагентного метода в практике гальванического производства по сравнению с другими методами, так как они позволяют химически превращать токсичные загрязнители сточных вод в безвредные или легко удаляемые соединения.

Вместе с тем реагентному методу присущи недостатки, ограничивающие его технологические возможности:

— безвозвратные потери нежелательных из сточных вод ценных компонентов;

— невозможность повторного использования в оборотном цикле без дополнительной обработки очищенных сточных вод с высоким остаточным содержанием;

— необходимость в больших объемах планировочных размерах для размещения комплекса реагентного хозяйства и очистных сооружений.

Поэтому наряду с совершенствованием модификаций реагентного метода разрабатываются научные и инженерные принципы промышленного использования широкого набора других физико-химических методов обезвреживания гальванических стоков.

В последние годы предпочтение отдается ионнообменному, электрохимическим, мембранным методам, как наиболее соответствующим комплексным требованиям водоочистки от гомогенных загрязнений.

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ЦИАНСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Технологические сточные воды в гальванических процессах меднения, цинкования и кадмирования содержат высокотоксичные простые и комплексные соединения циана (цианиды): NaCN, KCN, CuCN, Fe(CN)₂ — простые цианиды; [Cu(CN)₂][—], [Cu(CN)₃]^{2—}, [Cu(CN)₄]^{3—}; [Zn(CN)₄]^{2—}, [Fe(CN)₆]^{3—}, [Fe(CN)₆]^{4—} — комплексные цианиды.

Количество цианидов в сточных водах гальванических отделений варьируется в широких пределах. Наличие в технологической схеме оборудования накопителей позволяет выравнивать (усреднять) состав сточных вод во времени до средних значений концентрации цианидов 30 ± 10 мг/л. Без накопителей концентрация цианидов может достигать 300 мг/л.

Для очистки сточных вод от цианидов наиболее широкое применение нашли модификации реагентного и электрохимического методов.

Модификация реагентного метода. Для обезвреживания циансодержащих сточных вод используются различные модификации реагентного метода, основанные на химическом превращении высокотоксичных цианидов в нетоксичные, легко удаляемые продукты.

Получили распространение методы окисления активными Cl₂, KMnO₄, H₂O₂, O₃, O₂.

Окисленные реагентами, содержащими активный хлор. Область применения. Обезвреживание циансодержащих сточных вод различных объемов и концентраций.

Основные процессы. В качестве реагентов применяются: Ca(OCl)₂, гипохлориты Ca(OCl)₂ и NaOCl, жидкий Cl₂. Высокотоксичные цианиды превращаются гипохлоритом в тысячу раз менее токсичные цианаты с после-

Простотная система хромосодержащих сточных вод может быть модифицирована с помощью, помимо электрохимического метода, модификации (утилизации, т. е. утилизации) и с помощью метода.

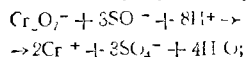
Модификация реагентного метода. В графическом изображении хромосодержащих сточных вод и с помощью распрямления данных и с помощью модификации реагентного метода, отличия реагентного метода.

Обработка хромосодержащих сточных вод с помощью метода. При pH > 12 происходит реакция $Cr^{6+} + OH^- \rightarrow Cr(OH)_3 \downarrow$.

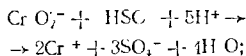
Восстановление сульфитными соединениями. Область применения. Обезвреживание хромосодержащих сточных вод с помощью метода.

Область применения. Сульфитными реагентами восстановления сточных вод с помощью метода.

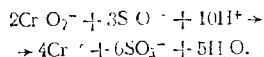
1-й этап. Восстановление Cr^{6+} в Cr^{3+} происходит по следующим реакциям:



восстановление сульфитом натрия



восстановление гидросульфидом натрия

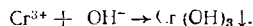


Решение вопроса восстановления происходит в кислой среде для чего с сильной кислоты добавляют 10—15%-ый раствор H_2SO_4 .

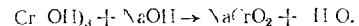
Повышая скорость и величина реакции восстановления и с помощью pH 2—2,5 с интенсивным перемешиванием реагентов. Для сокращения времени реакции до 5—7 мин используются сточные воды с концентрацией $Cr^{6+} \geq 100$ мг/л, что может быть достигнуто с помощью

всем известной водопроводной системы.

2-й этап. Осаждение Cr^{3+} происходит в щелочной среде. Для нейтрализации используют известь, мел, соду, в некоторых случаях с помощью $Ca(OH)_2$. Обработка $Cr(OH)_3$ происходит по реакции



Оптимальные для осаждения $Cr(OH)_3$ значения pH 8,5—9,0; при выходе за эти пределы растворимость $Cr(OH)_3$ увеличивается, как следствие уменьшается эффективность очистки сточных вод. При pH > 12 происходит реакция $Cr^{3+} + OH^- \rightarrow Cr(OH)_4^-$.



Результатом соблюдения строгих условий очистки является отсутствие осадка.

Оборудование. Применяются два вида технологического оборудования — установки периодического и непрерывного действия.

На сточных водах, содержащих Cr^{6+} до 2—3,0 г/л, происходит восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+} с помощью сульфитов. Реагент вводится в сточную воду в виде раствора. После обезвреживания сточные воды отстаивают, осадок $Cr(OH)_3$ (или Cr^{3+}).

Научное значение работы заключается в том, что с помощью метода можно достигнуть 100% очистки сточных вод от хрома. В результате реакции происходит четырехкратное увеличение массы твердого осадка $Fe(OH)_3$, который адсорбирует до 98% воды. Для полного восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} необходим 5%-ый избыток реагента от стехиометрического количества независимо от исходной концентрации Cr^{6+} .

Оборудование. Типовое для реагентного метода. Очистка до ПДК. Простота и малые объемы установок при фильтрации через железные стружки. Высокая скорость процесса восстановления до Cr^{3+} .

Принципиальная технологическая схема обезвреживания сточных вод гальванических цехов производственностью до 50 м³/ч представлена на рис. 4.

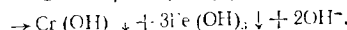
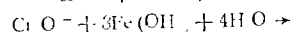
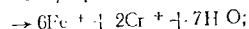
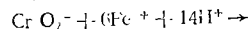
Преимущества. Очистка до ПДК. Простота эксплуатации. Для непрерывно действующих установок по сравнению с периодическими требуются очистные сооружения (емкости) в 2—3 раза меньше по объему.

Недостатки. Значительный расход реагентов. Дополнительные загрязнения сточных вод реагентами. Потери хрома. Невозможность возврата воды в оборотный цикл из-за повышенного содержания.

Восстановление железным купоросом. Область применения. Обезвреживание хромосодержащих сточных вод с концентрацией Cr^{6+} 10—900 мг/л.

В качестве реагентов-восстановителей кроме $FeSO_4$ используются отходы металлического Fe (стружки, scrap и т. д.).

Основные процессы. В отличие от солей сернистой кислоты восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+} сульфатами Fe^{2+} происходит в достаточно широком диапазоне pH среды (в кислой, нейтральной и щелочной) по реакциям



При использовании отходов металла сточные воды фильтруют в реакторе через слой железных стружек. В результате реакции происходит четырехкратное увеличение массы твердого осадка $Fe(OH)_3$, который адсорбирует до 98% воды. Для полного восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} необходим 5%-ый избыток реагента от стехиометрического количества независимо от исходной концентрации Cr^{6+} .

Оборудование. Типовое для реагентного метода.

Преимущества. Очистка до ПДК. Простота и малые объемы установок при фильтрации через железные стружки. Высокая скорость процесса восстановления до Cr^{3+} .

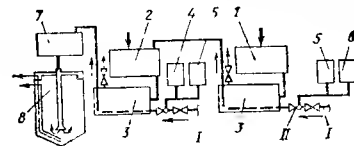


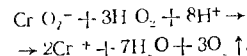
Рис. 4. Принципиальная технологическая схема обезвреживания сточных вод гальванических цехов:

1 — илитель хромосодержащих сточных вод; 2 — насос; 3 — реактор; 4 — щелочный реагент; 5 — насос; 6 — насос; 7 — регулирующий клапан; 8 — отстойник; 9 — илитель

Недостатки. Необходимость больших затрат реагента. Окисляемость Fe^{2+} в Fe^{3+} при хранении. Большие количества осадка и сложность его обезвреживания.

Восстановление перекисью водорода. Область применения. Обезвреживание хромосодержащих сточных вод с высокой концентрацией (до 1 г/л).

Основные процессы. Восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+} осуществляется в кислой среде



Для строго и полного протекания реакции необходим значительный избыток H_2O_2 . Последующее осаждение Cr^{3+} в виде гидроксида проводится NaOH в щелочной среде. При pH 8 происходит обратная реакция окисления Cr^{3+} до Cr^{6+} из-за присутствия H_2O_2 , поэтому H_2O_2 должна удаляться из реакционной среды. Удаление достигается каталитическим разложением на активном угле, металлических катализаторах или при взаимодействии с твердой MnO_2 .

Оборудование. Установки периодического действия, аналогичные используемым для обработки сточных вод активным хлором.

Преимущества. Обезвреживание сточных вод с высокой исходной концентрацией до ПДК. Простота технологии. Незначительное содержание осадочной воды. Возможность использования очищенной воды в оборотном цикле. Возможность автоматизации дозировки перекиси водорода.

Нестатки. Сложность хранения H_2O_2 .

Преимущества. Обезвреживание хромосодержащих сточных вод с конц. тяжёлых металлов не более 300 мг/л и катионов Cr^{6+} не более 0 мг/л. Регенерация отработанных хромосодержащих электролитов для повторного использования.

Основные принципы. Обработка хромосодержащих сточных вод достигается рядом операций по схеме, представленной на рис. 5.

Очистка содержащихся в растворе ионов Cr^{6+} , Cr^{3+} , Fe^{2+} проводят путём обмена на ионы H^+ при фильтрации через катионы в H^+ -форме. Очищенная от загрязняющих катионов сточная вода направляется на анионирование. Из электролитов химическими и физико-химическими методами извлекаются соединения тяжёлых металлов для их утилизации в производстве. После удаления ионов тяжёлых металлов вода поступает на дальнейшую очистку. Катионы периодически регенерируются 5–10 % ным раствором H_2SO_4 с переводом их в H^+ -форму.

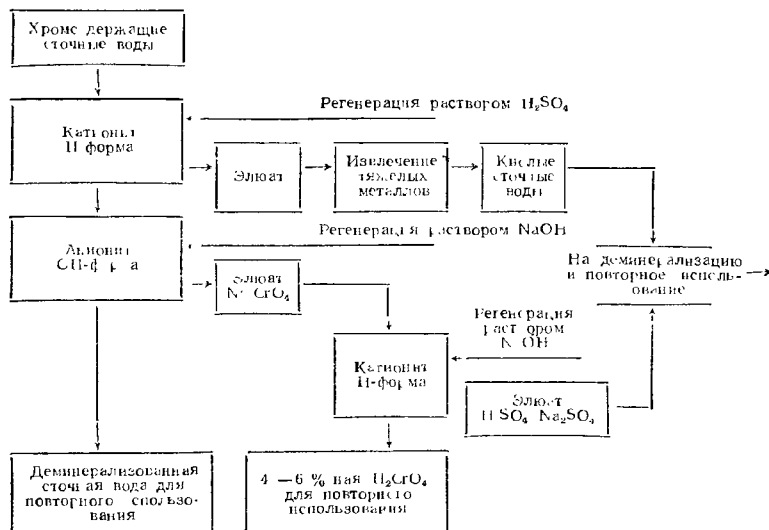


Рис. 5. Схема непрерывного метода очистки хромосодержащих сточных вод гальванического производства.

му, а ионов тяжёлых металлов — в растворимые соли.

Ионирование анионов H_2CrO_4 осуществляется при фильтрации через аниониты в OH^- -форме. Стоки после анионирования используются в оборотном цикле гальванического производства. Na_2CrO_4 содержится в щелочном средстве, перемещаемом на катодите в H^+ -форме в 4–6 % раствор H_2CrO_4 для повторного использования в процессе хромирования. Аниониты регенерируются 4–6 % ным раствором NaOH , после чего для переклада OH^- -формы в более активную для окисления окислитель хромат-ионов сульфатную форму присылают 1–2 % ным раствором Na_2SO_4 .

Кислые и окисленные стоки для после регенерации ионитов подвергаются последующей обработке на катионитах в H^+ -форме и анионитах в OH^- -форме для полной деминерализации и повторно используются.

Оборудование. Принципиальная схема очистки представлена на рис. 6. **Преимущества.** Возврат (до 90–95 %) очищенной воды и раствора H_2CrO_4 в оборотный цикл при год-

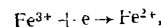
ства. Возможность утилизации отходов тяжёлых металлов. Возможность автоматизации процессов очистки сточных вод.

Недостатки. Необходимость тщательной предварительной очистки стоков от растворителей, масел, органических соединений, поверхностно-активных веществ и т. п. Потребность в значительных количествах химикатов для регенерации ионитов и обработки электролитов. Предварительное разделение промывных вод от концентрированных растворов.

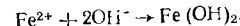
Электрохимические методы. Для очистки хромосодержащих сточных вод гальванического производства в последнее время весьма широко применяются модификации электрохимических методов (электрокоагуляционный, электроосадочный, электролизный).

Электрокоагуляционный метод с растворимыми железными электродами. **Область применения.** 1. Обезвреживание хромосодержащих сточных вод при расходе 100 м³ и концентрации Cr^{6+} или суммарной концентрации ионов тяжёлых металлов до 100 мг/л. 2. Регенерация отработанных растворов от процессов хромирования анодирования и нанесения хромовых гальванических покрытий.

Основные процессы. В результате электрохимического растворения железных электродов возникают ионы Fe^{2+} :



которые при $\text{pH} \geq 5,5$, взаимодействуя с ионами OH^- , образуют $\text{Fe}(\text{OH})_2$:



Ионы Fe^{2+} способствуют химическому восстановлению Cr^{6+} до Cr^{3+} в бихромат-ионах и хромат-ионах, а также выпадению осадка $[\text{Fe}(\text{CrO}_2)_3]$:

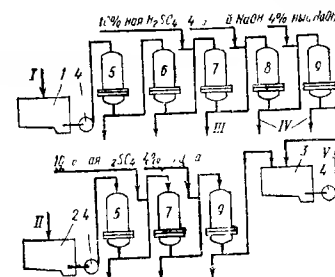
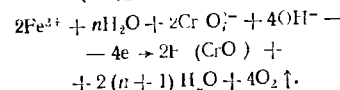
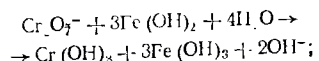
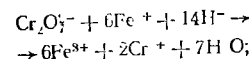
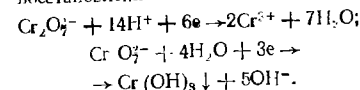


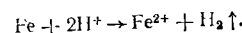
Рис. 6. Принципиальная схема очистки хромосодержащих и кислотно-щелочных стоков методом ионного обмена:

1 — насос, 2 — насос, 3 — насос, 4 — насос, 5 — насос, 6 — насос, 7 — насос, 8 — насос, 9 — насос, 10 — насос, 11 — насос, 12 — насос, 13 — насос, 14 — насос, 15 — насос, 16 — насос, 17 — насос, 18 — насос, 19 — насос, 20 — насос, 21 — насос, 22 — насос, 23 — насос, 24 — насос, 25 — насос, 26 — насос, 27 — насос, 28 — насос, 29 — насос, 30 — насос, 31 — насос, 32 — насос, 33 — насос, 34 — насос, 35 — насос, 36 — насос, 37 — насос, 38 — насос, 39 — насос, 40 — насос, 41 — насос, 42 — насос, 43 — насос, 44 — насос, 45 — насос, 46 — насос, 47 — насос, 48 — насос, 49 — насос, 50 — насос, 51 — насос, 52 — насос, 53 — насос, 54 — насос, 55 — насос, 56 — насос, 57 — насос, 58 — насос, 59 — насос, 60 — насос, 61 — насос, 62 — насос, 63 — насос, 64 — насос, 65 — насос, 66 — насос, 67 — насос, 68 — насос, 69 — насос, 70 — насос, 71 — насос, 72 — насос, 73 — насос, 74 — насос, 75 — насос, 76 — насос, 77 — насос, 78 — насос, 79 — насос, 80 — насос, 81 — насос, 82 — насос, 83 — насос, 84 — насос, 85 — насос, 86 — насос, 87 — насос, 88 — насос, 89 — насос, 90 — насос, 91 — насос, 92 — насос, 93 — насос, 94 — насос, 95 — насос, 96 — насос, 97 — насос, 98 — насос, 99 — насос, 100 — насос.

Дополнительно происходят катодные электрохимические процессы восстановления Cr^{6+} :



При электролизе раствор подщелачивается, что способствует коагуляции рыхлых хлопьев $\text{Fe}(\text{OH})_2$ с разветвленной сорбционной поверхностью, способствующей соосаждению ионов тяжёлых металлов. На катоде образуется газообразный H_2 :



Оптимальная среда имеет pH 3–7 и корректируется в зависимости от соотношения Cr^{6+} и ионов тяжёлых металлов в сточных водах. В оптимальных условиях происходит практически одновременное восстановление Cr^{6+} в Cr^{3+} и осаждение Cr^{3+} в виде $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Необходимое время контакта раствора с электродами — несколько десятков секунд. Материал электродов — инкоуглеродистые стали. Плотность тока на аноде 0,8–1,2 А/дм². Для поддержания оптимальной электропроводности раствора минимально

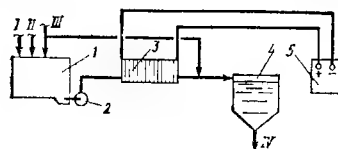


Рис. 7. Принципиальная схема очистки хромосодержащих стоков электрохимическим методом:

1 — усреднитель-накопитель; 2 — насос; 3 — электрокоагулятор; 4 — отстойник; 5 — выпариватель; 6 — сточные воды из гальванического цеха; II — раствор NaCl; III — раствор щелочи; IV — осадок на обезвреживание

общее содержание не должно превышать 300 мг/л. При исходных концентрациях $\text{Cr}^{6+} > 100$ мг/л возрастают удельный расход металла, электроэнергия, время обработки, выделение газообразного водорода, необходимость применения депассивирующих добавок. Для предотвращения пассивации в обрабатываемые сточные воды вводят некоторый избыток NaCl.

Образующийся объемный осадок отстаивают и уплотняют в течение суток. Добавление флокулянта (1—2 мг/л полиакриламида) ускоряет коагуляцию частиц осадка. Остаточные концентрации Cr^{3+} , Fe^{2+} и других ионов тяжелых металлов в сточной воде не превышают ПДК.

Оборудование. Принципиальная схема очистки (рис. 7) включает электрокоагулятор со стальными анодами, снабженный вытяжной вентиляцией, емкости для корректировки величины pH щелочными реагентами и электропроводности раствором NaCl, аппараты для фильтрации и осветления воды.

Осадок $\text{Cr}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и других тяжелых металлов после обезвреживания на вакуум-фильтре, фильтрпрессе или центрифуге может быть использован в качестве металлургического сырья.

Преимущества. Компактность, простота эксплуатации и высокая производительность оборудования. Отсутствие в потребности химических реагентов. Малая чувствительность к изменениям параметров процесса (pH, t , °C). Возможность автоматизации. Экономический эффект по сравнению с реагентным методом.

Недостатки. Для использования воды в оборотном цикле при большом содержании требуется введение ионообменного метода. Значительный расход металла для растворимых анодов. Пассивация анодов. Необходимость предварительного разбавления концентрированных стоков перед очисткой. Значительное образование шламов.

Электрохимический метод с нерастворимыми анодами. Область применения. Обезвреживание хромосодержащих сточных вод с большими концентрациями Cr^{6+} (более 2 г/л).

Основные процессы. Электролиз проводится со свинцовыми анодами, не подвергавшимися электролитическому растворению. Применяются аноды из Pb или Pb—Sb-сплава. Катоды — из легированной стали.

В присутствии ионов Fe^{2+} катодный процесс восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} интенсифицируется и одновременно ингибируется анодный процесс окисления Cr^{2+} до Cr^{3+} .

После электрохимической обработки к сточным водам добавляются щелочные реагенты для осаждения Cr^{3+} в виде $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Выход Cr^{3+} по току составляет 70—90 %.

Оборудование. Бездиафрагменный непроточный электролизер периодического действия со свинцовыми анодами.

Преимущества. Полное исключение реагентов восстановителю и сокращение расхода реагентов. Значительное уменьшение количества шламов. Простота эксплуатации производственных установок. Экономический эффект от сокращения расходов на химические реагенты.

Недостатки. Аноды из дефицитного Pb и его сплавов.

Мембранные методы. Ультра- и гиперфильтрация. Область применения. Очистка сточных вод от Cr в оборотной системе водоснабжения с утилизацией ценных компонентов.

Основные процессы. К мембранным методам относятся ультра- и гиперфильтрация. Ультрафильтрация — процесс отделения растворенных веществ от растворителя полупроницаемыми мембранами с порами 0,005—0,2 мкм под давлением 0,1—0,5 МПа. Гиперфильтрация (обратный осмос) —

процесс отделения воды от гидратированных ионов растворенных солей при фильтрации через полупроницаемые мембраны толщиной 0,1—0,2 мкм с порами 0,001 мкм под давлением 6—10 МПа.

Гиперфильтрацию рекомендуют использовать для очистки сточных вод не только от солей Cr, но и от солей других металлов.

Мембраны должны обладать высокой разделяющей способностью (селективностью), большой удельной производительностью (проницаемостью), устойчивостью к действию среды, достаточной механической прочностью и стабильностью при эксплуатации. Мембраны изготавливают из полимерных материалов.

Наибольшее распространение получили мембраны из ацетилцеллюлозы, устойчивые при давлениях до 10 МПа, температурах 0—30 °C, pH 3—8. При 50 °C ацетилцеллюлозные мембраны разрушаются. Намечены к промышленному производству ацетилцеллюлозные мембраны марки УАМ для ультрафильтрации и марки МГА для гиперфильтрации. Например, мембраны марки УАМ-200м имеют средний диаметр пор $0,018 \pm \pm 0,003$ мкм, пористость 75 ± 3 % и позволяют обеспечить производительность 500—1400 л/(м²·сут). Мембраны марки МГА-95 с селективностью 95 % и пористостью 75 ± 3 % обеспечивают производительность 250 л/(м²·сут). Регенерация мембран осуществляется через 2—3 сут эксплуатации.

Оборудование. Аппараты для ультра- и гиперфильтрации характеризуются большой поверхностью фильтрации и подразделяются по способу укладки мембран на четыре типа: фильтрпресс с плоскопараллельными фильтрующими элементами; с трубчатыми фильтрующими элементами; с рулонными или спиральными фильтрующими элементами; с мембранами в виде пучков волокон.

Принципиальная схема очистки сточных вод методом гиперфильтрации представлена на рис. 8. Для очистки сточных вод гальванических производств разработаны два типа установок: УГОС-1 и УГОС-2. Эти установки выполнены двухступенчатыми. На первой ступени происходит концентрирование сточных вод, полу-

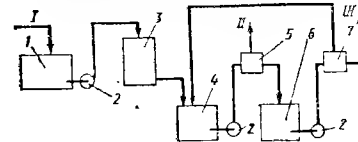


Рис. 8. Принципиальная схема очистки хромосодержащих сточных вод методом гиперфильтрации (замкнутой):

1 — накопитель; 2 — насос; 3 — механический фильтр; 4 — накопитель; 5 — гиперфильтрационный аппарат 1-й ступени; 6 — накопитель; 7 — гиперфильтрационный аппарат 2-й ступени; 8 — сточная вода из гальванического цеха; II — возврат концентрированного раствора в производство; III — возврат очищенной воды в оборотную систему производства

ценный концентрат возвращается в производство. На второй ступени проводят дополнительную очистку фильтрата первой ступени. Производительность установки УГОС-1 по фильтрату на первой и второй ступенях составляет соответственно 95 и 70 л/ч, общая поверхность ацетилцеллюлозных мембран 19 м². Давление 6,3 МПа. Производительность первой и второй ступени установки УГОС-2 равна соответственно 630 и 450 л/ч. Общая площадь полиамидных мембран 150 м². Мембраны состояются из рулонов длиной 20—25 м и шириной 0,4 и 1,0 м.

Преимущества. Возможность полного использования сточных вод в оборотной системе. Значительное сокращение расхода энергии и ценных химических веществ. Возможность утилизации ценных компонентов сточных вод. Возможность автоматизации процесса.

Недостатки. Большие капитальные вложения на оборудование и эксплуатационные затраты. Явление концентрационной поляризации на поверхности мембран уменьшает проницаемость (производительность), степень разделения и срок службы.

Сорбционный метод. Область применения. Обезвреживание хромосодержащих сточных вод с концентрацией Cr до 150 г/л.

Основные процессы. При фильтрации подкисленных сточных вод через активный уголь содержащийся в них Cr^{6+} восстанавливается до Cr^{3+} , который практически полностью сорбируется поверхностью сорбента.

ХИМИКАТЫ

Гальваническое производство является крупным потребителем различных химических препаратов — растворителей, щелочей, кислот и солей. Перечень этих материалов дан в табл. 1 и 2.

МЕТАЛЛЫ

Металлы в гальваническом производстве, используемые в качестве анодов, а также для изготовления гальванического оборудования, приспособлений, змеевиков, барботеров, приведены в табл. 3 и 4.

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ
МАТЕРИАЛЫ

В гальванических цехах, в связи с применением большого количества различных видов химических продуктов, полимерные материалы ис-

пользуются в широком ассортименте для футеровки ванн, изоляции приспособлений, изготовления барабанов и колоколов, зубчатых колес к ним, изготовления трубопроводов, втулок бортовых отсосов, змеевиков, барботеров и т. д.

Основные виды применяемых неметаллических материалов приведены в табл. 5.

АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Стандарты на материалы для механической обработки поверхности приведены в табл. 6.

Характеристики шлифовальных материалов в соответствии с ГОСТ 3647—80 приведены в табл. 7.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Вспомогательные материалы, применяемые в гальваническом производстве, приведены в табл. 8.

1. Растворители

Растворитель	ГОСТ, ТУ	Растворитель	ГОСТ, ТУ
Ацетон	2768—79	Ксилол	5280—79Е
Бензин Б-70	1012—72*	Скипидар	1571—82
Бензин А-72, А-74	2084—77*	Тетрахлорэтилен	ТУ 6-09-4084—75
Бензин БР-1, БР-2	445—76*	Толуол	5789—78*
Бензол	8448—78Е	Трихлорэтилен	9976—70*
Растворители:	645, 18188—72**	Уайт-спирит	3134—78*
646, 647, 648		Хладон 113	23844—79
Растворитель Р-4	7828—80	Четыреххлористый углерод	4—75*
Керосин	4753—68*		

2. Кислоты, щелочи и другие химические соединения

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Классификация
Кислоты:			
азотная	HNO_3	4461—77	Ч*
азотная концентрированная	HNO_3	701—78	Техн.*
адипиновая	$(\text{CH}_2)_4(\text{COOH})_2$	10558—80	Ч.
бензойная	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	10521—78*	Ч.
борная	H_3BO_3	9656—75*	Ч.
борная	H_3BO_3	18200—79Е	Техн.
серфтористоводородная	HBF_4	ТУ 6-09-2577—77	Ч.
винная (виннокаменная)	$(\text{C}_2\text{HOH})_2(\text{COOH})_2$	5817—77	Ч.
винадиевая	H_4O_8	ТУ 6-09-02-178—75	Ч.
глутаровая	$\text{C}_4\text{H}_8(\text{COOH})_2$	ТУ 6-09-472—79	Ч.
кремнефтористая (45%-ная)	H_2SiF_6	ТУ 6-09-2774—79	Ч.
лимонная	$(\text{CH}_2)_3\text{COH}(\text{COOH})_2$	СТ СЭВ 394—76	Ч.
молбденовая	H_2MoO_4	ТУ 6-09-2154—77	Ч.
серава кислородная	$89\% \text{HNO}_3 + 7,5\% \text{H}_2\text{SO}_4$	1500—78*	Техн.
ортофосфорная термическая	H_3PO_4	10678—76*Е	Техн.
ортофосфорная элементарная	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$	6552—80	Ч.
олеиновая	$\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$	7580—59*	Техн.
пикриновая (30%-ный раствор)	$(\text{NO}_2)_3\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}$	10475—75*	Техн.
пирофосфорнокислая	$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$	ТУ 6-14-253—74	Ч.
серная	H_2SO_4	5653—75*	Ч.
серная азотмультяционная	H_2SO_4	4204—77*	Техн.
серная техническая	H_2SO_4	667—78*	Ч.
сольная	HCl	2184—77*	Техн.
серебряная	HCl	3118—77*	Ч.
сульфамидная	$\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{COOH}$	ТУ 6-11-1194—79	Техн.
сульфамидная	H_2SO_4	6484—61*	Ч.
сульфосилициевая	$\text{HSO}_3\text{H} \cdot \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$	ТУ 6-03-381—80	Ч.
сульфарилловая	$\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$	4478—78*	Ч.
уксусная	CH_3COOH	1821—78*	Ч.
п-фенолсульфоновая	$\text{HOC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$	61—75*	Ч.
фосфотриоксидная (плавиковая) 40%-ная	PF_5	ТУ 6-09-4137—75	Техн.
фтористоводородная	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	10484—78	Ч.
щавелевая	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$	2218-0-76	Ч.
яблочная		6341—75*	Ч.
Щелочи:			
аммиак водный	NH_4OH	3760—79	Ч.
аммиак водный	NH_4OH	9—77*	Техн.
серная гидроксидная	$\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	10848—79Е	Техн.
кальциевая гидроксидная	KOH	9285—78	Техн.
кальциевая гидроксидная	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	9262—77	Ч.
натрия гидроксидная	NaOH	2263—79	Техн.
натрия гидроксидная очищенная	NaOH	11078—78*	Техн.
натрия гидроксидная	NaOH	4328—77**	Ч.
Авириль ОГ (смазочный)	$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	ТУ 6-14-549—80	Техн.
Алюминиевые кислоты	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	15028—77*	Техн.
Аммоний азотнокислый	NH_4NO_3	12966—75*	Ч.
Аммоний азотнокислый	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	22867—77	Ч.
Аммоний азотнокислый (II)		4208—72	Ч.
Аммоний азотнокислый (III)	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	ТУ 6-09-1032—76	Ч.
Аммоний азотнокислый	$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	3763—76*	Ч.
Аммоний азотнокислый	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	20478—75*	Ч.

Продолжение табл. 2

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Квалификация
Аммоний сернистый очищенный	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	108/3—73*	Техн.
Аммоний сернистый	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	3769—78	Ч.
Аммоний титлатфтористый	$(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$	ТУ 6-09-01-456—77	Ч.
Аммоний углеродистый	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	3770—73	Ч.
Аммоний фосфорно-кислый двухзамещенный	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	3772—74	Ч.
Аммоний фтористый	NH_4F	1518—75*	Ч.
Аммоний фтористый кислый	NH_4HF_2	9516—75*	Ч.
Аммоний хлористый	NH_4Cl	3773—72*	Ч.
Аммоний хлористый	NH_4Cl	2210—73*	Техн.
Аммоний роданистый	NH_4CNS	СТ СЭВ 222—75	Техн.
Аммоний уксуснокислый	$\text{CH}_3\text{COONH}_4$	5117—78	Ч.
Аммоний щавелевокислый	$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	5712—78	Ч.
Ангидрид малеиновый	$\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_3$	58*4—78	Ч.
Ангидрид хромовый	CrO_3	2548—77*Е	Техн.
Ангидрид хромовый	CrO_3	3776—78	Ч.
Ангидрид олянокислый	$\text{C}_6\text{H}_4\text{NCl}$	5822—78	Ч.
Аэросил А-380	—	14922—77*	Ч.
Барий азотнокислый	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	3777—76	Ч.
Барий уксуснокислый	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ba}$	5816—77	Ч.
Барий углеродистый	BaCO_3	2149—75*	Техн.
Бензолсульфамид	$\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_2\text{NH}_2$	ТУ 6-09-2659—81	Ч.
1,4-Бутиндиол (раствор)	$\text{HOCH}_2\text{C}\equiv\text{CCl}_2\text{OH}$	ТУ 64-5-52—79	Ч.
ВОС-2	—	ТУ 6-09-05-318—75	Ч.
Воскообразователь БЦУ	—	РСТ Лит. ССР 788—81	Ч.
Бутанол-1	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	6006—78	Хв.
Вератровый альдегид	$(\text{CH}_3\text{O})_2\text{C}_6\text{H}_4\text{CHO}$	ТУ 64-6-32—73	Ч.
Висмут сернистый	$\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	ТУ 6-09-4218—81	Ч.
Водорода перекись	H_2O_2	177—71*	Техн.
Гидразин	$\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	5832—76*	Ч.
Гидразин сернистый	$\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$	5811—74*	Ч.
Гидразин дигидрохлорид	$\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 2\text{HCl}$	22159—76	Ч.
Гидроксиламина гидрохлорид	$\text{HONH}_2 \cdot \text{HCl}$	5436—79	Ч.
Гидрохинон	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$	1967—74*	Техн.
Глицин (глицикол)	$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	5860—75*	Ч.
Глицерин динамитный	$\text{C}_3\text{H}_8(\text{OH})_3$	6259—75*	Техн.
Глюкоза	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	6033—79	Ч.
Декстрин	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$	8031—74*	Ч.
Деталин	—	ТУ 18 РСФСР	Техн.
Диэтилформамид	$(\text{CH}_3)_2\text{NCHO}$	№ 506—72	Ч.
Диспергатор ПФ	—	20 9—74	Ч.
Дихлорэтан	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	6818—79	Техн.
Дипиридин	$(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{NH}$	194—74	Техн.
ДХТН-10	—	9875—73*	Ч.
ДХТН-11	—	ТУ 6-09-621—75	Ч.
ДХТН-20	—	ТУ 6-09-149—79	Ч.
ДХТН-10	—	ТУ 6-09-46-2—78	Ч.
ДХТН-10	—	ТУ 6-09-09-4737—79	Ч.
ДХТН-ВННПДВ-01	—	ТУ 38—40846—80	Техн.
Железоаммонийные квасцы	$\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	1205—77*	Ч.
Железо (II) сернокислое	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4148—78	Ч.
Железо (III) сернокислое	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	9483—74*	Ч.
Железо треххлористое	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	11159—76	Техн.
Железо щавелевокислое	$\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	11190—75	Ч.
Желатин фотографический	—	1821—77*	Ч.
Жидкость гидрофобизирующая 136-41	—	19834—76	Ч.
Защелкиватели ДЦУ и устойчивый-2	—	6858—73	Ч.
Индикатор И-2-В	—	ТУ 38-103339—76	Ч.
Индикатор И-1-Е	—	ТУ 38-103525—82	Ч.
Известь строительная гидратная (венская)	$\text{CaO} + \text{Mg}_3\text{O}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	9179—74	Техн.
Известь хлорная	—	1699—55*	Техн.
Кадмий сернистый	$\text{CdS} \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$	1456—75	Ч.
Кадмий хлористый	$\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$	4330—76	Ч.

Продолжение табл. 2

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Квалификация
Кадмий окисный	CdO	11120—7	Ч.
Кадмий сернистый	$\text{Cd}(\text{H}_2\text{S})_2$	ТУ 6-09-196—77	Ч.
Кадмий хлористый	$\text{K}_2\text{Cd}(\text{CN})_2$	ТУ 6-09-1—75	Ч.
Кадмий хлористый	$\text{K}_2\text{Cd}(\text{CN})_2$	20 6—75	Ч.
Кадмий хлористый	$\text{K}_2\text{Cd}(\text{CN})_2$	84—79	Ч.
Кадмий азотнокислый	K_2O	1 17—77*	Ч.
Кадмий азотнокислый	K_2O	19 90—4*	Техн.
Кадмий азотнокислый	K_2O	6 5—77	Ч.
Кадмий азотнокислый	K_2O	26 2—78	Техн.
Кадмий азотнокислый	K_2O	4220—75*	Ч.
Кадмий азотнокислый	K_2O	1 0—7	Ч.
Кадмий азотнокислый	K_2O	207—7	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	6816—79Е	Техн.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	4 2—74	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	38—78	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	ТУ 6-09-16 0—77	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	9189—73	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	5 77—71*	Техн.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	20 90—7*	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	4146—74*	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	ТУ 6-25-0—81	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	ТУ 6-09 04-79—74	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	4159—75	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	4145—74*	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	ТУ 6-09-03—76	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	ТУ 6-09-1785—77	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	ТУ 6-09-4652—78	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	1 499—78	Техн.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	4221—76	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	2493—75*	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	4198—75*	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	20848—75	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	4234—77*	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	8465—79*	Техн.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	4142—77*	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	8677—76	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	12085—73*	Техн.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	7167—77*	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	4460—77	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	ТУ 21-25-194—76	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	ТУ 6 01-873—74	Техн.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	4462—78	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	4525—77	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	10561—80	Техн.
Кадмий азотнокислый	$\text{K}_4\text{H}(\text{CN})_6$	ТУ 6-09-3503—74	Техн.
Кадмий азотнокислый	—	ОСТ 6-2 9—79	Техн.
Кадмий азотнокислый	—	ТУ 6-09-3503—75	Техн.
Кадмий азотнокислый	—	ТУ 6 25-31—77	Техн.
Кадмий азотнокислый	—	ТУ 81-4-419—76	Техн.
Кадмий азотнокислый	—	ТУ 6-09-1787—77	Ч.
Кадмий азотнокислый	—	ТУ 6-09-21С5—77	Ч.

Продолжение табл. 2

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Квалификация
Красители органические для алюминия (желтый, 3, золотистый, оранжевый 2Ж, черны)	—	ТУ 6-14-515—76	Техн.
Ликонда Ф-1	—	ТУ 88 Лит. ССР 3—81	Техн.
Ликонда ZnSR-A, B, C	—	ТУ 6-09-4286—76	Техн.
Ликонда 1А	—	ТУ 6-18-134—72	Техн.
Ликонда 1В	—	ТУ 6-09-3662—74	Техн.
Ликонда 2А-Т	—	ТУ 6-18-203—75	—
Ликонда 21	—	ТУ 6-18-193—77	—
Ликонда 22	—	ТУ 6-18-214—76	—
Ликонда 25	—	ТУ 6-18-200—78	—
Ликонда 31	—	ТУ 6-09-4410—77	—
Ликонда 32	—	ТУ 6-09-4411—77	—
Ликонда 41	—	ТУ 6-09-4429—77	—
Ликонда 1	—	ТУ 6-09-4753—81	—
Лимед БЦ-1, БЦ-2, БЦ-3, БЦУ	—	РСТ Лит. ССР 870—78	—
Лимед НБЦ-О, НБЦ-К	—	ТУ 88 Лит. ССР 5—77	—
Лимед НЦ	—	ТУ 6-09-4428—77	—
Лимед БК-2, БК-2с	—	РСТ Лит. ССР 855—78	—
Лимед ГК-10	—	ТУ 88 Лит. ССР 3—78	—
Лимед Sn-2, Sn-22	—	ТУ 6-09-4615—78	—
Лимед Л-2	—	ТУ 88 Лит. ССР 1—78	—
Магний сернокислый	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	4 23—77*	Ч.
Магний хлористый	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	4209—77*	Ч.
Марганец (IV) двуокись	MnO_2	4470—79	Ч.
Марганец (II) сернокислый	$MnSO_4 \cdot 5H_2O$	435—77	Ч.
Марганец хлористый	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	612—75	Ч.
Медь из порошковой (40 % ный р-тор)	$Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$	ОСТ 6-75-14—79 ТУ 6-09-3757—74	Техн. Хч.
Медь борфтористая	$Cu(BF_4)_2 \cdot 6H_2O$	ТУ 6-09-3964—75	Ч.
Медь (I) сернокислая	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	416—78*	Ч.
Медь (II) углекислая основная	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	8927—79	Ч.
Медь двухлористая	$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	4167—74*	Ч.
Медь цианурная	$Cu(CN)_2$	10018—79*	Техн.
Метан транзит	$NO_2C_6H_4NH_2$	ТУ 6-14-983—75	Техн.
МЛ-1, МЛ-2 (оцинкованный)	—	ТУ 84-288—76	Техн.
Моноэтиленгликоль	$NH_2C_2H_4OH$	ТУ 6-09-244—77	Ч.
Мышьяк	—	790—69	Техн.
Натрий азотнокислый	$NaNO_3$	419—74*	Ч.
Натрий азотистокислый	$NaNO_2$	19906—74*	Техн.
Натрий азотнокислый	$NaNO_3$	828—77*	Техн.
Натрий азотнокислый	$NaNO_2$	4165—79	Ч.
Натрий виннокислый	$Na_2C_4H_4O_6 \cdot 2H_2O$	36—78	Ч.
Натрий вольфраматокислый	$Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$	18289—78	Ч.
Натрий двуххромовокислый	$Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$	4237—6*	Ч.
Натрий диэтилдитиокарбамат	$(C_2H_5)_2NCSSNa \cdot 3H_2O$	8864—71*	Ч.
Натрий кремнефтористый	Na_2SiF_6	87—77	Техн.
Натрий карбоксиметилцеллюлоза	—	ОСТ 6-05-386—80	Техн.
Натрий леурилсульфат	$C_{12}H_{25}OSO_3Na$	ТУ 6-09-64—75	Ч.
Натрий лимоннокислый	$Na_3C_6H_5O_7 \cdot 5,5H_2O$	22*80—76	Ч.
Натрий молибденовокислый	$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	10931—74**	Ч.
Натрий оловянокислый	$Na_2SnO_3 \cdot 3H_2O$	ТУ 6-09-1506—76	Ч.
Натрий пирофосфорнокислый	$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$	342—77	Ч.
Натрий селениловокислый	$HOOC_2H_4COONa$	17628—72	Ч.
Натрий селенистокислый	Na_2SeO_3	ТУ 6-09-1315—76	Ч.
Натрий сернистый	$Na_2S \cdot 9H_2O$	546—79	Техн.
Натрий сернистокислый	Na_2SO_3	5644—75*	Техн.
Натрий серноватистокислый	$Na_2S_2O_3$	СТ СЭВ 223—75	Ч.

Продолжение табл. 2

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Квалификация
Натрий сернокислый	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	6 18—77*	Техн.
Натрий сульфосалициловый	$NaO \cdot SC_6H_4(OH)X$	ТУ 12П-140—72	Ч.
Натрий тетраортоокислый	$XCOONa \cdot 3H_2O$	41 9—76*	Ч.
Натрий углекислый	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	84—76*	Ч.
Натрий уксуснокислый	CH_3COONa	199—78	Ч.
Натрий уксуснокислый	$CH_3COONa \cdot 3H_2O$	2 80—76	Техн.
Натрий фосфатоватистокислый	$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$	00—76	Ч.
Натрий гипофосфит	$NaH_2PO_2 \cdot H_2O$	6 7—79	Техн.
Натрий фосфорнокислый трехзамещенный	$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	9 7—79*	Ч.
Натрий трифосфат	$Na_3P_2O_7$	2 1—6*	Техн.
Натрий фосфорнокислый двухзамещенный	$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	1 493—77Е 41 2—76	Ч.
Натрий фтористый	NaF	2 1—75*	Техн.
Натрий хлористый	$NaCl$	4 3—77	Ч.
Натрий цианурный	$NaCN$	8 64—79*	Техн.
Натрий цианурный	$NaCN$	ТУ 6-03-16 79	Ч.
2,6-2,7-нафт-линдисульфокислота	$C_{10}H_6S_2$	ТУ 6-14-10 9 8	Техн.
ННБ-3	—	ТУ 6-09-4513—78	Ч.
ННБ-11	—	ТУ 6-14-19-1—78	Ч.
Никель сернокислый	$NiSO_4 \cdot 7H_2O$	4 6—74*	Ч.
Никель сернистый	$NiS \cdot 7H_2O$	9 76	Техн.
Никель сульфаминовокислый	$Ni(NH_2SO)_2 \cdot 4H_2O$	ТУ 6-09-2 50—78	Ч.
Никель хлористый	$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	4 8—79	Ч.
Никель уксуснокислый	$(CH_3COO)_2Ni \cdot 4H_2O$	ТУ 6-09-848—75	Ч.
Олово борфтористое (30 %)	$Sn(BF_4)_2 \cdot 2H_2O$	ТУ 6-09-2 83—73	Ч.
Олово двухлористое	$SnCl_2$	6—78*	Ч.
Олово серное	$SrSO_4$	6-09-1502—75	Ч.
ОП-7 и ОП-10 (смазочные)	—	8433—81	Техн.
ОС-20	—	1 730—82	Ч.
П-лидид двухлористый	$PdCl_2$	ТУ 6-09-2025 72	Ч.
П-раминобиссульфамид	$(NH_2)_2C_6H_4SO_2$	ТУ 130-71—68	Ч.
Пентон сухой ферментальный	—	13805—76*	Ч.
Пи-идин	C_4H_9N	13 47—78	Ч.
Политетрагидрокси-115	$HO(CH_2CH_2OH)_{115}H$	ТУ 6-14-826—78	Техн.
Политетрагидрокси-115	—	ТУ 6-02-94—80Е	Техн.
«П» огрес (смазочный)	—	ТУ 36-10 19 71	Ч.
Род-ин	—	ТУ 6-09-14 18—75	Ч.
Сахарин	$C_6H_5NOS_2$	ТУ 64-6-126 80	Ч.
Свинцовый бор-тористый	$C_6H_5NO_5$	35 8—75	Техн.
Свинца (II) окись	PbO	9199—77*	Ч.
Свинца сернистый	PbS	ТУ 6-09-3118—78	Ч.
Свинца углекислый	$PbCO_3$	1 275—74	Ч.
Свинца уксуснокислый	$Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$	027—67*	Ч.
Серебро азотнокислый	$Pb(NO_3)_2$	4521—78	Ч.
Серебро азотнокисловое	$AgNO_3$	12 7—75	Ч.
Серебро йодистое	AgI	ТУ 6-09-474—75	Ч.
Серебро хлористое	$AgCl$	ТУ 6-09-3862 75	Ч.
Сн-тамед-5 (смазочный)	—	ТУ 6-02-64—80	Техн.
Сп-тамед-5 (смазочный)	—	ТУ 6-14-577—77	Техн.
Сода калийная	Na_2CO_3	5100-73*	Техн.
Сорбит	—	ТУ 6-09-158—77	Техн.
Средства моющие Лабомид 101, 203, 204	—	ТУ 38.10738—80	Техн.
Средство моющее ТМС-31	—	ТУ 38.10951—79	Техн.
Сульфат цинка	$C_6H_5SO_3Na$	9 82—77*	Ч.
С-лифол	—	ТУ 6-01-1001—75	Техн.
Стекло натриевое жидкое	$N_2SiO_3 \cdot nH_2O$	1 078—81	Техн.
Стропиный сернокислый	$SrSO_4$	ТУ 6-09-1164—77	Ч.
СПФ-2 фоторезист сухой пленочный	—	ТУ 6-17-859—76	Техн.

Продолжение табл. 2

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Квалификация
Спирт этиловый	C_2H_5OH	17999—78*	Техн.
Тиомочевина	NH_2CSNH_2	6344—73*	Ч.
Трилон Б	$C_{10}H_{14}O_8N_2Na_2 \cdot 2H_2O$	10652—73*	Ч.
Трилон (с эвуватель)	—	ОСТ 6-15-543—82	Техн.
Триэтилмин	$(C_2H_5)_3N$	9966—73*	Техн.
Триэтилоламин	$N(C_2H_5OH)_3$	ТУ 6-09-2448—72	Ч.
Уксусная кислота	—	ТУ 38-101-197—74	Техн.
Уротропин	$(CH_2)_6N_4$	1381—73*	Техн.
Фенол	C_6H_5OH	6417—72*	Ч.
Формалин (40 %-ный формальдегид)	CH_2O	1625—75*	Техн.
Фталатид	$C_6H_4(CO)_2NH$	ТУ 6-09-3635—75	Ч.
Фурфурол	C_4H_3OCHO	10930—74	Ч.
Хлорамин Б	$C_4H_9SO_3N(Cl)Na \cdot 3H_2O$	ТУ 6-09-3021—73	Ч.
Хромовая кислота	Cr_2O_3	2912—79Е	Техн.
Хром хлорид	$CrCl_3 \cdot 6H_2O$	4473—73	Ч.
Хромированная сталь	ZnO	ТУ 6-02-758—77	Техн.
Цинковый купорос	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	10262—73*	Ч.
Цинк сернокислый	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	8723—82	Техн.
Цинк фосфорнокислый	$Zn(H_2PO_4)_2 \cdot 3H_2O$	4174—77*	Ч.
Цинк азотнокислый	$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	16992—78	Техн.
Этамон ДС	—	5106—77	Ч.
Этилентетраамин	$HOCH_2CH_2OH$	ТУ 6-14-912—78	Ч.
Этилентетраамин (50 %-ный раствор)	$NH_2CH_2CH_2NH_2$	10164—75*	Ч.
		ТУ 6-09-146—75	Ч.

Примечание. Квалификация химических веществ дана в сокращенном виде: Техн. — технический, Ч. — чистый, Чда. — чистый для анализа, Хч — химически чистый.

3. Аноды

Аноды	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ
Цинковые, марок Ц1, Ц2. Прокат листовый	Толщина 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 20; ширина 65, 75, 100—600; длина 40—1000	Выпускается по ГОСТ 1180—71; состав по ГОСТ 3640—79
Цинковые, марки ЦВ. Засыпанные в корзины	Форма — параболы вращения, Ø 50—60	Выпускаются по ТУ 48-6-77—76; состав по ГОСТ 3640—79
Кадмиевые, марок Кд0, Кд1. Прокат листовый	Толщина 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15; ширина 100—300; длина 400—1000	Выпускаются по ГОСТ 1468—71; состав по ГОСТ 22860—77
Оловянные, марки О1	Отливаются по требуемым размерам непосредственно в цехе	Состав по ГОСТ 860—75*
Свинцовые, марок С0, С1, С2	Отливаются по требуемым размерам непосредственно в цехе	Состав по ГОСТ 3778—77Е
Свинцово-сурьмянистые для хромирования, марки ССу8	Отливаются по требуемым размерам непосредственно в цехе	По ГОСТ 1292—81Е свинец сурьмянистые со свинца 7—8,5 % Sb
Медные, марок М0, М1, М2. Прокат листовый	Толщина 1—15; ширина 75—1000; длина 300—2000	Выпускаются по ГОСТ 767—70; состав по ГОСТ 859—78*
Медные фосфорсодержащие, марки АМФ	Квадратные пластины 25×25×10	Выпускаются по ТУ 48-21-5045—79; содержат Р = 0,03÷0,06 %
Никелевые, марок Н1, Н1у	Квадратные пластины 25×25×10	Выпускаются по ТУ 48-3-40—76; состав по ГОСТ 8419—70

Продолжение табл. 3

Аноды	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ
Никелевые, марок НПА1, НПА2 и НПАН (непассивирующиеся)	Толщина 4, 6, 8, 10, 12; ширина 100—600, длина 400—2000; форма — овальное сечение 8×3 двуполь 400—1200	Выпускается по ГОСТ 2132—75; состав по ГОСТ 492—7**
Стальные, с содержанием 10 и 20 млн армко-железа	Пластины и прутки в горячекатаном состоянии по требуемым размерам	Листовая сталь по ГОСТ 103—76 и ГОСТ 1050—74**
Нерастворимые из стали 12Х18Н11Т для электролитов	Аноды нарезают в цехе по несоб. одним раз срам	Листовая сталь по ГОСТ 7 0-77*
Серебряные марки СР 999,9 Аг	Толщина 2—10; ширина 70, 100 и 150; длина 100—300	Выпускается по ГОСТ 2 474—82
Золотые, марки ЗЛ 999,9 Аи, плотностью 19,3 г/см³	Толщина 0,1—5; ширина 50, 100, 150 и 200; длина 100, 200 и 300	Выпускается по ГОСТ 25475—82

4. Металлы

Наименование	ГОСТ, ТУ, ОСТ
Сталь углеродистая обыкновенного качества	380—71*
Сталь тонколистовая коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная	5882—75*
Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали	9941—81
Листы свинцовые	9559—75*
Трубы из титановых сплавов	ОСТ 190050—72
Трубы сварные из титановых сплавов	24890—81
Проволока сварочная из титановых сплавов	ОСТ 90015—71
Проволока латуны	1066—80
Прутки латуны	2060—73*
Листы и полосы латуны	931—78*

5. Неметаллические материалы

Материал	Назначение, характеристики и размер, мм	ГОСТ, ТУ, ОСТ
Винилхлорид листовый	Для футеровки ванн. Стоек в кислотах, щелочах и растворах солей; Тразм = 60 С, толщина 2—20, длина 1300 и ширина 500	9639—71*
Краска гальваническая СГ-3 13	Для лацли приспособлений	ТУ 6-29-02-568—76
Лак кислотостойкий БТ-7 3	Для лацли приспособлений	1347—77*
Пластина Д-УА	Для лацли приспособлений. Стоек в растворах кислот, щелочей, солей; Тразм = 100 С	ТУ 4-01-900—74
Полипропилен листовый	Для футеровки ванн, изготовления колонок, барабанов, горловых отсеков. Стоек в кислотах, щелочах, растворах солей; Тразм = 116 С. Листы толщиной 1—6, 8, 10, 12, 15, 20, шириной 850 и 1450	ТУ 38-10290—75
Полиэтилен листовый	Для футеровки ванн. Стоек в кислотах, щелочах и растворах солей. Толщина 0,5—5, длина <1000, ширина 1450	ТУ 6-19-228—83

П. одолжение табл. 5

Материал	Назначение, характеристика и размер, мм	ГОСТ, ТУ, ОСТ
Полиэтилен порошкообразный	Для изоляции приспособлений	ТУ 6-05-1866—78
Рукава резиновые напорные с текстильным каркасом	Для перекачки воды	18698—79*
Ткань капроновая	Для изготовления сетчатых трафаретов	ОСТ 17-46—82
Ткань полипропиленовая	Для фильтрации растворов, изготовления чехлов на аноды. Для фильтрации кислотных растворов	ТУ 17-04-14—81
Ткань фильтровальная из стеклянных нитей	Для фильтрации агрессивных растворов	10146—74*
Ткань хлопчатобумажная	Для фильтрации кислотных растворов, изготовления чехлов на аноды	20714—75*
Фторопласт-3	Стойки в растворах кислот, щелочей, солей; $T_{разм} = 250^{\circ}\text{C}$	13744—76*
Фторопласт-4	Стойки в растворах кислот, щелочей, солей; $T_{разм} = 250^{\circ}\text{C}$	ТУ 6-05-810—76
Эмаль перхлорвиниловая ХВ-1100	Для изоляции приспособлений	6993—79

6. Материалы для механической подготовки поверхностей

Наименование	ГОСТ, ТУ, ОСТ
Др. техническая из чугуна и стали	11964—81Е
Кр. а мраморная электротехническая	16426—81
Кр. точные для обработки металлических деталей	10684—75*
Кр. шлифовальные	ОСТ 37.002.06С5—80, ОСТ 37.002.0611—80
Кр. шлифовальные	21963—82
Кр. шлифовальные	2424—83
Кр. шлифовальные	ТУ 2-036-323—77
Кр. шлифовальные	ТУ 2-036-321—77
Кр. шлифовальные	ТУ 2-036-814—79
Кр. шлифовальные	12435—79
Кр. шлифовальные	3647—79
Кр. шлифовальные	ТУ 2-036-147—72
Кр. шлифовальные	ТУ 2-036-773—78
Кр. шлифовальные	ТУ 2-036-190—78
Кр. шлифовальные	4417—79
Кр. шлифовальные	16-4—89
Кр. шлифовальные	13344—79

7. Характеристики шлифовальных материалов

Группа зернистости и назначение	Зернистость	Размер зерен, мкм
Шлифзерно для обдирочного, предварительного и чистового шлифования *	200	2000
	160	1600
	125	1250
	100	1000
	80	800
	63	630
	50	500
	40	400
	32	350
	25	250
	20	200
	16	160

Продолжение табл. 7

Группа зернистости и назначение	Зернистость	Размер зерен, мкм
Шлифпорошки для тонкого шлифования *	12	125
	10	100
	8	80
	6	63
для шлифования с засаливанием	5	50
	4	40
	M63	50
	M50	40
Микрошлифпорошки и тонкие микрошлифпорошки для полирования	M40	28
	M28	20
	M20	14
	M14	10
	M10	7
	M7	5
	M5	3

* См. гл. 4 том 1.

8. Вспомогательные материалы

Материал	Назначение	ГОСТ, ТУ
Бумага индикаторная «Рифан»	Для определения показателя pH растворов	ТУ 6-19-3410—83
Бумага парафинированная	Для упаковки и транспортировки деталей	9569—79
Бумага противокоррозионная	Для упаковки и хранения деталей	16295—82
Бумага фильтровальная	Для фильтрации растворов	12026—66*
Бязь хлопчатобумажная	Для протирки деталей	11680—76*
Вазелины кремнийорганические КВ-3	Для смазывания приспособлений перед нанесением изоляции	15976—70*
Вата медицинская гидрохимическая	Для протирки поверхности плат растворителями	5556—81
Ветошь	Для протирки приспособлений, оборудования	5854—78
Вода дистиллированная	Для чистовой промывки	6709—72
Капифоль основная	Для приготовления флюсов и консервирующих составов	19113—73*
Катиониты, сульфуголь	Для получения деионизированной воды	5696—74*
Клен БФ-4	Для склейки медной фольги с диэлектриками	12172—71*
Масло смазочное «Ветосит»	Для протирки покрытий	20799—75*
Марля бытовая х/б	Для протирки деталей	11109—74*
Сумалая	Для футеровки ванн травления	961—79
Плиты кислотоупорные и термостойкие керамические	Для футеровки ванн травления	961—79
Паста полировальная ПХЗ (ГОИ)	Для полирования деталей	ТУ 6-78-176—80
Сетки проволоочные вязкие	Для изготовления сетчатых трафаретов	6613—73*
Сукно швейное	Для изготовления полировальных кругов и фильтров	6621—82Е
Сажка ПМ-75 (гранулированная) и ТГ-10 (негранулированная)	Для фильтрации растворов	7885—77*
Термометры стеклянные, технические жидкие (не ртутные)	Для измерения температуры растворов	2823—73*Е 9177—74*
Уголь активированный БАУ	Для измерения температуры растворов	6217—74**
Уголь осветляющий древесный порошокобразный марки ОУ-А	Для удаления примесей из электролитов	4453—74*
Фланель хлопчатобумажная	Для изготовления секций полировальных кругов	7259—77*
Целлюлоза порошковая фильтровальная	Для фильтрации растворов	ТУ 84-839—80

А

Агрегаты (выпрямительные) на кремниевых и селеновых вентилях 2.186, 187
— серий ВАР и ВАРП — Технические характеристики 2.187—194
— серий ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВТ, ТВИ с регулируемым напряжением 12—115 В и током 100—3150 А 2.195—197 — Технические характеристики 2.196
— герания 2.29, 30 — Составы растворов и режимы акселерации 2.30
Активация поверхности — Назначение 1.74 — Составы растворов и режимы для химической активации 1.76, 76
Составы растворов и режимы травления алюминия и его сплавов 1.74, 75
— алая перед хромированием — Длительность 1.123 — Условия проведения 1.123
— электрохимическая — Составы электролитов и режимы активации металлов 1.81, 82
Активирование 2.25, 28
— прямое — Назначение 2.28 — Составы растворов и режимы прямого активирования 2.28
Алюминирование — Типы электролитов 2.37
Анализ комплексобразующих и других компонентов электролитов 2.78—81
— аммиака сернистого и хлористого аммония — Электролит меднения 2.79, 80 — Электролит цинкования 2.80
— борной кислоты 2.80, 81
— борфторида 2.79 — Электролит меднения 2.79 — Электролит цинкования 2.80
— пирофосфата 2.78, 79 — Электролит меднения 2.78 — Электролит цинкования 2.79
— сульфитов 2.81
— цианида 2.78

Анализ металлов и электролитах 2.72—78
— железа 2.76
— золота 2.78
— кадмия 2.75, 76
— меди 2.72
— никеля 2.72, 73
— олова 2.76, 77
— свинца 2.77
— хрома трехвалентного 2.74, 75
— хрома шестивалентного 2.73
— цинка 2.74, 75
Анализ растворов оксидирования и фосфатирования 2.81, 82
— эфирно-гидридного электролита — Определение концентрации $AlCl_3$ 2.38, 39 — Определение общей концентрации алюминия 2.39, 40
Аноды 1.195, 205, 211

Б

Безопасность труда в гальваническом производстве — Система стандартов 2.198—200
Бицикель — Режимы осаждения 1.112
— Составы электролитов для нанесения первого и второго слоя никеля 1.111, 112

В

Ванн гальванические — Моделирование при подборе геометрических параметров 2.178—180 — Стандартные геометрические соотношения 2.177, 178 — Футеровка их 2.129, 130
— барасание — Куструктивные особенности 2.133—135 — Назначение 2.132 — Расчет 2.136, 137 — Технические характеристики 2.135
— для осаждения покрытий 2.125 — Конструктивные особенности 2.126—128
— колокольные — Конструктивные особенности 2.130, 131 — Назначение 2.130 — Недостатки 2.130 — Преимущества 2.130 — Расчет 2.136 — Технические

характеристики 2.131, 132 — Типы 2.130
— обезжиривания — Конструктивные особенности 2.120—124 — Технические характеристики 2.123, 124
— промывки — Назначение 2.124 — Особенности расты 2.123, 124
— травления — Материалы для их изготовления 2.124
Вентиляторы 2.142, 146
Вентиляция гальванических цехов местная вытяжная — Виды 2.141, 142 — Общеобменная 2.142
— смешанная 2.142
Висмут — Свойства 1.236
Выход по току — Параметры гальванических ванн 1.30, 31
— Появие 1.29, 30
— формулы для расчета толщины осаждаемого покрытия, времени осаждения и напряжения на ванне 1.30

Г

ГОСТ 1.3—68* 2.198
9.047—75 1.71, 98, 111 2.31
9.073—77* 1.105 2.47
9.301—78 1.31
9.302—79* 2.181
12.0.002—80 2.198
12.0.003—74* 2.200
12.1.001—83 2.204
12.1.003—83 2.204
12.1.004—76* 2.207
12.1.005—76 2.25, 142, 201, 205
12.1.007—76* 2.205
12.1.010—76* 2.207
12.1.012—78* 2.204, 207
380—71* 2.172
443—76 2.129
859—78* 2.172, 175
961—79 2.130
3647—80 2.129
5632—72* 2.172
6787—80 2.130
7201—80* 2.143
11964—81Е 1.64 2.129
14007—68 1.34
14623—69 1.34
19797—80 2.120
23505—79 1.55 2.113

Д

Диэлектрики — Виды 2.20
— Конструирование деталей из них 2.21, 22
— Получение псевдаллического электропроводного покрытия 2.30—33
— Прочность, сцепления с металлами

покрытиями 2.21
— Технологический процесс получения покрытий 2.23—35

Ж

Железные — Назначение 1.191
— Неполудки 1.196, 197
— Прготовление электролитов 1.197, 198
— Свойства покрытий 1.191, 192
Железо — Свойства 1.191

З

Золочение — Назначение 1.221 — Покрытия сплавами на основе золота 1.224 226 — Составы электролитов, их особенности, режимы работы 1.224—226 — Технологические особенности процесса 1.226, 227
— Без внешнего тока 1.228 — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.222, 223
Золото — Свойства 1.220, 221

И

Изоляция деталей — Места изоляции 1.155 — Назначение 1.155 — Участков поверхности, не подлежащих покрытию — Нанесение и удаление изоляционных материалов 1.90 — Основные изоляционные материалы 1.89, 90
Источники питания гальванических цехов — Пульсации выпрямленного тока 2.182, 183 — Сглаживающие фильтры 2.183
— тока специальной формы 2.185, 186

К

Кадмий — Свойства 1.181
Кадмирование — Добавки 1.182
— Катодные поляризационные кривые в различных электролитах 1.182
— Неполудки 1.188, 189
— Приготовление электролитов 1.189
Кислотность — Влияние на скорости коррозии 1.8, 9
Константы физические металлов 1.31
Контроль качества покрытий — Внутренние напряжения 2.104—106 — Защитная способность 2.106, 107 — Микрогладкость 2.103, 104 — Пористость покрытий 2.100—103 — Прочность сцепления 2.97—100.
— кислотности — Калориметрический метод 2.83—85 — Потенциометрический метод 2.85—87

— распределения металла — Выравнивающая способность электролитов 2.109 — Определение допустимой плотности тока 2.108 — Определение рассеивающей способности электролита 2.108, 109

Коррозия — Диаграммы Пурбе 1.7 — Коррозионные диаграммы 1.8 — Обратимые потенциалы 1.7, 8 — Прямые и косвенные показатели коррозии 1.6 — Стандартный электродный потенциал 1.6, 7 — атмосферная — Загрязненность воздуха 1.12 — Критическая влажность 1.12 — Образование фазовых и адсорбционных пленок 1.12 — Понятие 1.12 — Продолжительность увлажнения 1.12.

— в почве и морской воде — Взаимосвязь между содержанием влаги и агрессивностью почвы 1.14 — Взаимосвязь между электросопротивлением и агрессивностью почвы 1.14 — Присутствие нопов-активаторов в воде 1.14 — Характеристики почвы как коррозионной среды 1.14.

— газовая — Меры борьбы 1.18 — Механизация оборудования 1.18 — контактная и щелевая — В ди контактах металлов 1.15 — Устойчивость контактов металлов 1.15—17 — Причины возникновения 1.14, 15 — радиационная — Деструктурирующий эффект 1.18 — Радиолитический эффект 1.18 — Фоторадиационный эффект 1.18

Л

Линии автоматические для нанесения гальванических покрытий — Классификация 2.144 — Назначение 2.144

Линии автоматические автооператорные с программным управлением — Конструктивное расположение автооператора 2.151 — Назначение 2.150 — Технические характеристики 2.151—153 — Цикл 2.151 — дуплекс-операторные — Особенности конструкции 2.157 — Принципы работы 2.157 — Технические характеристики 2.158 — с автооператором мостового типа 2.157 — с автооператором порталного типа 2.156 — Назначение 2.156 — Особенности конструкции 2.156 — с консольным автооператором — Особенности конструкции 2.151, 152

— с тельферным автооператором — Недостатки 2.156 — Особенности конструкции 2.156

Линии автоматические кареточные с жестким единичным циклом — Достоинства 2.144 — Конструктивные особенности 2.145 — Назначение 2.144 — Недостатки 2.144 — Технические характеристики 2.148, 149 — Типы 2.148, 149 — барабанного типа — Назначение 2.143 — Особенности конструкции 2.149, 150 — колокольного типа — Особенности конструкции 2.149 — Технические характеристики 2.148, 149

М

Материалы, применяемые в гальваническом цехе, абразивные 2.226, 234, 235 — вспомогательные 2.226, 235, 236 — металлы 2.226, 232, 233 — неметаллические 2.226, 233 — химикаты 2.226, 227—232

Меднение — Удаление недостатков качественных покрытий 1.104 — Электролитическое осаждение сплавов на основе меди 1.102, 103 — химическое — Основные неполадки в асете в 1.102 — Составы растворов и их особенности 1.101, 102 — Составы растворов и режимы химического меднения 2.31 — Химическое восстановление меди 1.101 — Медь — Свойства 1.91

Метод анализа металлосодержащего компонента в электролитах весовой 2.73, 75 — коллоидный 2.72, 76, 77 — комплексометрический 2.72—77 — обильный 2.73, 74, 78 — перманганатометрический 2.74—76 — фотокалориметрический 2.73

Метод испытаний защитной способности покрытий КАСС 2.107 — Особенности 2.107 — корродот — Назначение 2.167 — Особенности 2.107

Метод контроля внутренних напряжений покрытий гибкого катода 2.104, 105 — измерения деформации после окончания электролиза 2.105 — растяжения-сжатия 2.106 — спиральным контактометром 2.105

Метод контроля пористости покрытий контактных отпечатков 2.103

— коррозионный 2. — Виды 2.100—102 — Растворы 2.101 — электрографический 2.102, 103 — Сущность 2.102

Метод контроля прочности сцепления покрытий с основой качественный — Виды 2.97 — количественный — Виды 2.98—100 — электрохимический — Виды 2.98 — Сущность 2.98

Метод определения толщины покрытий физических вихревых токов 2.96, 97 — измерения масс 2.94, 96 — магнитный 2. — Виды 2.94, 96 — прямого измерения 2.94 — радиоактивный 2.97

Метод определения толщины покрытия химический капельный 2.87, 88 — Растворы 2.89 — кулонометрический 2.94 — струйный — Виды 2.88, 92, 93, 96

Метод очистки сточных вод, содержащих кислоты, щелочи и ионы тяжелых металлов 2.224, 225 — электролитный — Недостатки 2.217 — Преимущества 2.217

Метод очистки хромосодержащих сточных вод монообменным 2.220, 221 — мембранный 2.222, 223 — реагентный — Модификации 2.218, 219 — Недостатки 2.218 — Преимущества 2.218—220 — сорбционный 2.223, 224 — электрохимический — Виды 2.221, 222

Микротвердость электролитического покрытия — Способы определения 2.104

Н

Наводороживание сталей — Влияние его на физико-механические свойства металла 1.45 — Термическая обработка 1.50, 51 — при наводороживании — Особенности процесса 1.48, 49 — при нанесении гальванических покрытий — Влияние состава электролита, плотности тока, природы и структуры покрытий 1.47 — Определение пластичности сталей методом изгиба 1.47 — Оценка механических свойств сталей 1.47 — Факторы, определяющие степень наводороживания сталей 1.48 — при травлении — Влияние концентрации и природы кислоты 1.46 — Зависимость пластичности стали — время травления 1.46

— при хромировании 1.49 — Особенности процесса 1.49—51 — при цинковании — Влияние плотности тока на время до появления трещин 1.48 — Особенности процесса 1.48 — Применяемые электролиты 1.48

Напряжения внутренние покрытий — Виды 2.104

Никелирование — Неполадки и способы их устранения 1.117, 118 — блестящее — Добавки блескообразователей 1.109 — Назначение 1.109 — Недостатки 1.109 — Особенности 1.109 — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.109—111 — матовое — Особенности электроосаждения Ni 1.105, 106 — Типы электролитов — см. под их названиями, например, Электролиты никелирования сернокислые — многослойное — Структура слоев никеля 1.111—113 — химическое — Катализаторы 1.114 — Оптимальное осаждение Ni 1.114 — Предел прочности 1.114 — Составы и режим химического никелирования 2.31 — Составы электролитов 1.114, 115 — черное — Назначение 1.113 — Составы электролитов и режимы работы 1.113, 114 — Никель — Свойства 1.105

О

Обезвреживание 2.25

Обезжиривание 2.24

Обезжиривание поверхности — Концентрация компонентов обезжиривающих растворов 1.66, 67 — Механизм обезжиривания 1.66 — Продолжительность удаления жировых загрязнений при оптимальной концентрации фосфатов 1.68 — Растворяющая способность органических растворителей 1.66 — Составы растворов для одновременного обезжиривания и травления 1.69 — Составы растворов для химического обезжиривания 1.67 — Составы растворов для химического обезжиривания в ультразвуковом поле 1.69, 70 — Составы растворов для эмульсионного обезжиривания 1.69, 70 — электрохимическое — Виды 1.79, 80 — Назначение 1.79 — Применяемые растворы 1.79 — Составы электролитов и режимы обезжиривания 1.80, 81

Оборудование гальванических цехов вспомогательное — Технические характеристики 2.164—166

— для механической подготовки поверхности шлифовально-полировальные — Виды обработки на них 2.113—119 — разновидности станков и установок 2.110—119

Оборудование гальваническое — Работа по безотходной технологии 2.158, 160

Обработка механическая поверхности — Виброабразивная обработка 1.60—63 — Галтовка 1.55—60 — Обработка щетками 1.63 — Струйно-абразивная обработка 1.63—С — Шлифовальные и полировальные 1.54—57 — перед хромированием — Влияние ее на механические свойства 1.124, 125

Обработка окончательная хромированных деталей — Отпуск 1.156

— Притирка 1.157

— Хонингование 1.157

— Шлифование 1.137

Обработка поверхности термическая перед хромированием — Накипание 1.125 — Режимы 1.125

— химическая — Активация 1.74—76 — см. также Активация поверхности — Обезжиривание 1.65—70 — см. также Обезжиривание поверхности — Травление 1.70—74 — см. также Травление поверхности — Химическое полирование 76—78 — см. также Полирование химическое поверхности

— электрохимическая — Электрохимическая активация 1.82 — см. также Активация поверхности электрохимическая — Электрохимическое обезжиривание 1.79—81 — см. также Обезжиривание поверхности электрохимическое — Электрохимическое травление 1.81, 82 — см. также Травление поверхности электрохимическое — Окрашивание адсорбционное 2.63 — Особенности процесса 2.63, 64

— неорганическими красителями 2.63 — Состав неорганических красителей 2.63, 64

— пленки в процессе ее формирования 2.63

— электрохимическая 2. — Особенности процесса 2.63

Окислирование анодное — Лом. никелевых сплавов — Особенности процесса 2.60, 61 — Режимы обработки 2.60, 61 — Составы растворов 2.60

— в серной кислоте 2.60, 61

— в хромовой кислоте — Особенности процесса 2.61 — Режимы обработки 2.61

— Состав растворов 2.61

— толстоосадочное — Назначение 2.61

— С обобщенными процессами 2.61, 62

— Составы растворов 2.62

— цинковые — Особенности процесса 2.62, 63

— Режимы обработки 2.63

— Составы растворов 2.63, 64

Окислирование анодное магнетитовых сплавов — Особенности процесса 2.3, 65

— Режимы обработки 2.65

— Составы растворов 2.5 — меди и ее сплавов — Особенности процесса 2.5

— Режимы обработки 2.66

— Составы растворов 2.66

— стали — Особенности процесса 2.6

— титановых сплавов 2.66

— цинка и кадмия 2. — Особенности процесса 2.66

Окислирование химическое алмазных сплавов — Качество оксидных пленок 2.59

— Особенности процесса 2.59

— Режимы обработки 2.59

— Составы растворов 2.59

— медных сплавов — Назначение 2.59

— Особенности процесса 2.59

— Составы растворов 2.59

— стали и чугуна — Защитные свойства оксидных пленок 2.57—59

— Особенности процесса 2.57—59

— Режимы обработки 2.57, 58

— Составы растворов 2.57, 58

Окислирование электрохимическое (анодирование) 2.60—66

— Особенности процесса 2.60

Олово — Свойства 1.199

Словянирование — Декоративная отделка 1.206

— Оплавление 1.206

— Пассивирование 1.206

— Свойства оловянных покрытий 1.199, 200

— Удаление покрытий 1.207

— без внешнего тока (химическое) — Области применения растворов 1.205

— Составы растворов и режимы 1.205, 206

Осаждение гальванических покрытий на детали из Al и его сплавов без применения промежуточного подслоя 2.10—12

— для защитно-декоративных целей и придания функциональных свойств — Особенности процесса 2.12

— Режимы осаждения 2.12

— Составы растворов 2.12

— по контактно осаждаемым Zn и Ni — Недостатки 2.9

— Особенности

процесса 2.8 — Режимы осаждения 2.8 — Составы электролитов

— Ni и Cu по окисной пленке — Особенности процесса 2.9, 10

— Гвозди анодного окисления 2.10

— Составы электролитов 2.10

— по электролитически нанесенным Zn и Ni 2.9

Осаждение контактное Zn и Ni — Влияние концентрации NaOH на толщину покрытия 2.7

— Составы растворов 2.7, 8

Осаждение сплавов на основе никеля — Виды сплавов 1.115—117

— см. также под их названиями, например, Сплав никель—кислород

— при кадмировании — Составы электролитов и режимы осаждения 1.187

— Типы сплавов 1.187

— при цинковании — Разновидности сплавов 1.174, 175

— Составы электролитов и режимы осаждения 1.175

— W и Mo — Составы электролитов и режимы осаждения 1.238

Осаждение электролитическое сплавов на основе меди — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения сплавов медь—олово 1.103

— Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения сплавов медь—цинк 1.102, 103

Осаждение Bi, Sb, As, Mn, Re, Se — Составы электролитов и режимы осаждения 1.237, 238

— In и сплавов на его основе — Типы электролитов 1.234, 235

— Составы электролитов и режимы осаждения 1.234—236

Оснастка технологическая гальванических автоматических линий 2.167—181

ОСТ 196042—71 2.172

2.160—1—74 1.174

2.165—1—80 2.128

П

Палладий — Свойства 1.230

Палладирование — Назначение 1.230

— Свойства покрытий 1.230

— Технологические особенности процесса 1.233

— Типы электролитов 1.230—233

Пассивирование — Особенности процесса для различных материалов 2.71

— Режимы обработки 2.71

— Составы растворов 2.7

Пассивность металла — Кривая анодной пассивности 1.10

— Понятие 1.10

— Потенциал пассивации 1.11

— Характеристика пассивного состояния 1.11, 12

Перевод числа твердости на прочность для сталей 1.32

Пластмассы — Конструирование деталей из них 2.21, 22

— Способы и режимы их переработки 2.22, 23

— терморезистивные 2.21

Пленки фосфатные — Повышение их защитных свойств 2.57

— аморфные — Их защитные свойства 2.55

— Составы электролитов 2.55

Площадь поверхности деталей — Понятие 1.33

— полная цилиндрических деталей — Понятие 1.32

Подвески — Изоляция 2.172, 173

Обслуживание 2.174

— Расчеты распределения тока на них и на деталях 2.180

— для анодного окислирования деталей из алюминиевых сплавов 2.173

— для хромирования 2.173

Подготовка деталей из Al и его сплавов обычная — Обезжиривание в органическом растворе 2.7

— Обезжиривание химическое 2.7

— Осветление 2.7

— Травление 2.7

— специальная — Способы нанесения подслоя — см. также под их названиями, например, Осаждение контактное Zn и Ni

Подготовка деталей из Mg и его сплавов обычная — Активация 2.12

— Обезжиривание в органическом растворе 2.13

— Обезжиривание химическое 2.13

— Обезжиривание электрохимическое 2.13

— Травление 2.13

Подготовка деталей из Ti и его сплавов обычная — Гидропескоструйная обработка 2.14, 15

— Обезжиривание 2.14, 15

— специальная — Активация 2.15

— Нанесение гидридной пленки 2.15

— Нанесение подслоя металла 2.15

— Режимы обработки 2.15

— Составы электролитов 2.15

Подготовка поверхности диэлектриков механическая 2.23—25

— перед нанесением гальванических покрытий — Изоляция участков поверхности, не подлежащих покрытию 1.89, 90

— см. также Изоляция участков поверхности, не подлежащих

покрытию — Механическая обработка 1.54—65 — см. также *Обработка механическая поверхности* — Удаление загрязнений 1.80—89 — см. также *Промывка деталей* — Химическая обработка 1.65—79 — см. также *Обработка химическая поверхности* 1.65—78 — Электрохимическое полирование 1.82—86

Подслой электропроводный неметаллический — Получение 2.31—33

Покрyтия гальванические — Вид и толщина покрытий для деталей, выполненных по 8-му и 9-му квалитетам 1.41, 42 — Вид и толщина покрытий для дружки 1.42 — Вид и толщина покрытий для резьбовых деталей 1.40—42 — Выбор покрытий 1.34 — Зависимость минимальной толщины подслоя и основного покрытия от условий эксплуатации 1.37—40 — Классификация 1.34 — Кристаллическая структура 1.42, 43 — Микротвердость 1.42 — Обозначение 1.34—36 — Требования к качеству 1.36 — Требования к поверхности основного металла 1.34

— алюминия и его сплавов 2.8—12 — Бериллиевые — Режимы электролитов 2.42 — Составы электролитов 2.42

— германиевые — Особенности работы электролитов 2.42, 43 — Применение 2.42

— диэлектриков и пластмасс 2.18, 19 — Контактные — Режимы осаждения 2.46 — Составы электролитов 2.46

— магневые — Особенности электролита 2.42 — Режимы работы электролита 2.42

— магния и его сплавов 2.12—13 — меди и ее сплавов 2.17

— многослойные Cu—Ni—Cr — Предварительное меднение 2.6 — Режимы осаждения 2.6 — Составы электролитов 2.6

— титана и его сплавов 2.14—17

Покрyтия хромовые 2.44

— блестящие — Твердость 1.122 — защитно-декоративные — Виды 1.122

— износостойкие и антифрикционные — Виды 1.122, 123 — коррозионно-стойкие — Виды 1.122

— молочные — Пластичность 1.122

Покрyтия цинковых сплавов 2.5, 6

Полипропилен — Механические и химические показатели 2.20 — область применения 2.20

Полирование химическое поверхности —

Составы растворов и режимы полирования алюминия, цинка, кадмия, титана, циркония 1.77, 78

— Составы растворов и режимы полирования стали, меди и ее сплавов, никеля 1.76, 77

Полирование электрохимическое поверхности алюминия — Составы электролитов и режимы полирования 1.83, 85, 86

— цветных сплавов — Составы электролитов и режимы полирования 1.83, 84

— черных металлов — Кривые анодной поляризации 1.82 — Составы электролитов и режимы полирования 1.83, 84

Полистирол — Область применения 2.20, 21

Полисульфон — Область применения 2.20

Полифениленоксид 2.20

Полярография — Потенциалы полу- волн 2.82, 83

Предтравление 2.24, 25

Приборы для регулирования режимов осаждения и контроля качества покрытий 2.160—164

Производство гальваническое — Охрана гидросферы 2.216, 217

— Охрана труда 2.200—207

— Очистка сточных вод 2.213—225

— Потенциально опасные и вредные факторы 2.201—203, 206, 207

Промывка деталей — Номограмма для определения удельного расхода воды на промывку 1.88

— Способы промывки 1.87—89

— Требования к промывке и воде 1.86, 87

Р

Разрушение металлов коррозионно-механическое — Коррозионная усталость 1.17

— Коррозионное растрескивание 1.17

— Меры борьбы с ним 1.17, 18

— Причины 1.17

— Среды, вызывающие растрескивание 1.17

— Фреттинг-коррозия 1.17, 18

Растворители органические — Физические константы 2.37

Растворы для активации коллоидные — Особенности обработки ими 2.29

Приготовление 2.29 — Составы растворов и режимы активации 2.29

Растворы для оксидирования алюминиевых сплавов 2.82

— серноокислые — Необходимые реактивы 2.82 — Ход анализа 2.82

— хромовокислые 2.82

Растворы оксидирующего фосфатирования — Назначение 2.53 — Режимы обработки 2.53 — Составы растворов 2.53

— универсальный для фосфатирования — Особенности процесса 2.55 — Состав раствора 2.55

— фосфатирования стали — Необходимые реактивы 2.61 — Ход анализа 2.81

— щелочного оксидирования стали — Отбор проб для анализа 2.61 — Ход анализа 2.81

Родий — Свойства 1.227

Родирование — Назначение 1.227

— Недостатки 1.227

— Свойства покрытий 1.227

— Технологические особенности процесса 1.229, 230

— Электролиты родирования 1.227—229

С

Свинец — Свойства 1.207

Свинцевание — Назначение 1.208

— Непосадки 1.211

— Удаление покрытий 1.211

— Электросоаждение сплавов Sn—Pb 1.211, 212

Сенсибилизация 2.26

Серебрение — Покрытия сплавами на основе серебра 1.216, 217 — Свойства покрытий 1.213 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.219, 220

— Технологические особенности процесса 1.218

— без внешнего тока — Назначение 1.215 — Составы растворов, их особенности и режимы осаждения 1.215, 216

Серебро — Свойства 1.213

Силикель — Особенности процесса 1.112, 113

— Режимы осаждения 1.113

— Составы электролитов 1.112, 113

— Скорость коррозии — Факторы влияющие на нее 1.8—10

Сопrotивление усталости основного металла — Влияние хромовых покрытий 1.51, 52

Сплав никель—железо — Назначение 1.115 — Режимы осаждения 1.116

— Составы электролитов 1.116

— никель—кобальт — Назначение 1.115 — Режимы осаждения 1.115

— Составы электролитов 1.113

— никель — олово — Назначение

1.117 — Режимы осаждения 1.117 — Составы электролитов 1.117

— никель — цинк — Особенности 1.116 — Составы электролитов 1.116

Способность электролитов кристалли- Факторы, влияющие на нее 1.29

— микрорассеивающая — Угловая риска для ее определения 1.29

— рассеивающая — Распределение тока 1.28 — Формулы для расчета 1.29

Стойкость коррозионная металлов 1.18

Сурьма — Свойства 1.237

Т

Тонирование химическое — Составы растворов 2.70, 71

— электрохимическое 2.71

Травление поверхности — Назначение 1.70 — Скорость травления 1.70, 71 — Составы растворов и режимы травления различных материалов 1.71—74

— электрохимическое — Составы электролитов и режимы анодного травления сталей 1.80—82

Трансформаторы регулируемые 2.182

Триникель — Особенности процесса 1.112

— Состав электролита для полу- свия среднего слоя 1.112

ТУ 16-529.403—71 1.187

1.34105 480 72 1.130

36105 1082—76 1.129

У

Удаление недоврока стальных медных покрытий — Составы растворов в электролитах и режимы работы 1.104

Унос электролита через сепаратор — Поддержание постоянного уровня электролита 1.156

— При доврашении его 1.155, 156

Устройства подвесочные — Анализ экспериментальных данных для их выбора 2.176, 177

— Изоляция подвесок 2.172, 173

— Конструкция подвесок и их элементов 2.167, 170

— Материал для подвесок и другой технологической оснастки 2.171, 172

— Размещение деталей на подвеске 2.171

— Схема расчетов при проектировании 2.181

— Учет влияния геометрических параметров на распределение тока при проксировании 2.175

Ф

Фосфатирование — Влияние вида катиона на состав фосфатных пленок 2.47 — Особенности процесса 2.44 — Подготовка поверхности 2.44 — Преимущества фосфатных пленок 2.48 — в растворе соли Мажеф — Достоинства процесса 2.49 — Исходные компоненты 2.48 — Недостатки процесса 2.49 — Особенности процесса 2.49 — Приготовление раствора 2.49 — Ускорение процесса 2.49, 50 — в цинк фосфатом растворе — Концентры для фосфатирования сталей 2.51, 52 — Корректировка раствора 2.50, 51 — Особенности процесса 2.51 — Параметры технологического процесса фосфатирования 2.51, 53 — Составление раствора 2.50, 51 — Состав фосфатных пленок 2.52 — Составы растворов 2.50 — окисное — Оптимальные параметры процесса 2.54 — Составы растворов 2.54.

Фосфатирование химическое алюминия и его сплавов 2.56 — магния и его сплавов — Назначение 2.56 — Особенности процесса 2.56 — Режимы обработки 2.56 — Составы растворов 2.56 — никеля и его сплавов 2.57 — цинковых и кадмиевых покрытий 2.56

Фосфатирование холодное — Особенности процесса 2.53, 54 — Составы растворов 2.53, 54 — электрохимическое — Особенности процесса 2.55 — Составы растворов 2.55

Х

Хром — Свойства 1.111 — Химическая стойкость 1.119, 120 — электроосажденный — Влияние хромирования на предел выносливости 1.131, 132 — Внутренние напряжения 1.129, 130 — Износостойкость 1.130, 132 — Наводороживание 1.132, 133 — Пористость 1.132 — Содержание газов 1.129 — Структура 1.128, 129

Хромирование — Состав пленок 2.66 — химическое — Назначение 2.69 — Особенности процесса 2.66—69 — Составы растворов 2.67—69 — электрохимическое — катодное — Назначение 2.70 — Особенности процесса 2.69, 70 — Режимы обработки 2.70 — Составы растворов 2.70

Хромирование — Неполадки 1.158—160 — Основные типы осадков 1.121—123 — см. также под их названиями, например, *Покрытия хромовые защитно-декоративные* — Предварительные операции 1.123—125 — см. также под их названиями, например, *Активация поверхности анодной перед хромированием* — Технологические особенности процесса 1.150—158 — деталей из цинковых отливок 2.6

Хромирование при нестационарных режимах электролиза 1.143 — Назначение 1.143 — в ультразвуковом поле 1.145, 146 — импульсным током 1.143 — многослойное 1.147 — пористое 1.149, 150 — программным изменением режима электролиза 1.143 — проточное и струйное 1.144, 145 — реверсивным током 1.143

Хромирование размерное — Варианты конструкций хромируемых деталей 1.150—154 — Метод дозирования тока 1.154; 155 — Назначение 1.150 — Специальные подвески 1.151, 152

Ц

Цинк — Свойства 1.161

Цинкование — Назначение 1.161 — Неполадки и способы их устранения 1.175—178 — Области применения 1.161 — Приготовление электролитов 1.179, 180 — деталей из цинковых отливок — Изъяны и поры на наружной поверхности деталей 2.6 — Назначение 2.6 — Режим полирования 2.6 — Состав выравнивающего электролита 2.6 — Состав электролита для электрохимического полирования 2.6

Э

Электрокристаллизация — Влияние поверхности-активных веществ 1.27 — Влияние режима электролиза 1.23 — Пассивационное перенапряжение 1.26 — Стадии 1.22, 26 — Скорость роста двумерного зародыша 1.26

Электролиты алкилбензольные — Особенности работы 2.40, 41 — Приготовление 2.41 — Составы и режимы осаждения 2.41

— алюмосоединения с не — Приготовление 2.42 — Применение 2.42 — Составы 2.42

Электролиты жидкие для осаждения сплавов на основе железа — Особенности электролитов 1.195, 196 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.195, 196 — сернокислые и борфтористоводородные — Активация на аноде 1.195 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.195 — хлористые — Скорость осаждения Fe 1.193 — Типы 1.193, 194 — Характеристики электролита 1.12—194

Электролиты золочения железа с оснестойкостью и этилендиаминовыми — Приготовление 1.222, 223 — Типы 1.222, 223 — цианистые — Влияние pH на выход по току 1.222 — Природа цианида 1.222 — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.221

Электролиты кадмирования аммиачные — Особенности 1.185 — Составы электролитов и режимы работы 1.185, 186 — кислые — Катодные поляризационные кривые 1.182 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.183 — пирофосфатные — Основные компоненты 1.185 — Особенности 1.185 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.186 — с органическими и смешанными лигандами комплексов — Составы электролитов и режимы осаждения 1.187 — Типы 1.186, 187 — цианистые — Вредные примеси 1.184 — Выход по току 1.184 — Добавки 1.184 — Концентрация Cd 1.184 — Основные компоненты 1.183

Электролиты меднения комплексные — Основные неполадки 1.100 — Свойства электроосажденной меди 1.99 — Скорость осаждения меди 1.99, 100 — Составы различных электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.95—98 — простые — Неполадки 1.93 — Преимущества и недостатки 1.91 — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.92, 3

Электролиты никелирования борфтористоводородные и кремнефтористоводородные — Качество полученных осадков 1.108, 109 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.109 — сернокислые — Основные компо-

нент 1.106 — Скорость осаждения никеля 1.106, 108 — Составы электролитов, физико-химические свойства и режимы осаждения 1.106—108 — сульфаминные — Назначение 1.108 — Составы электролитов 1.108

Электролиты оловянно-роганические Сорфтористоводородные — Их составы и режимы осаждения 1.203, 204 — Приготовление растворов 1.204 — галогенидные — Их составы и режимы осаждения 1.204, 205 — Назначение 1.204 — Приготовление электролитов 1.204, 205 — кислые — Их составы и режимы осаждения 1.200, 201 — Неполадки 1.201, 202 — Область применения 1.200 — Способы приготовления 1.200, 201 — пирофосфатные — Добавки 1.205 — Приготовление электролитов 1.205 — щелочные — Вредные примеси 1.202 — Их составы и режимы осаждения 1.201, 202 — Неполадки 1.203 — Способы приготовления 1.201, 202

Электролиты синцевания кислые — Режимы электролиза 1.209 — Типы и особенности 1.208, 209 — кремнефтористоводородные — Получение 1.10 — Эксплуатационные качества 1.209, 210 — феносульфоновые — Основной компонент 1.210 — Преимущества 1.21 — щелочные — Добавки 1.210 — Недостатки 1.211 — Свойства 1.210 — Способы приготовления 1.210, 211

Электролиты серебряные ингибированные — Приготовление 1.215 — Свойства электролитов 1.215 — Унос электролитов 1.215 — цианистые — Выход по току 1.213 — Основные компоненты 1.213 — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.213, 214

Электролиты хромирования — Преимущества и недостатки 1.133, 134 — для осаждения сплавов на основе хрома — Их составы, особенности и режимы работы 1.140—142 — для черного хромирования — Назначение 1.138 — Составы электролитов, их особенности и режимы работы 1.138, 139 — на основе трехвалентных соединений хрома — Составы электролитов, их особенности, режимы работы 1.139, 140 — саморегулирующиеся — Преимущества и недостатки 1.134 — При-

цинк действия 1.134 — Соли-катализаторы 1.134 — Составы электролитов, их особенности, режимы работы 1.134, 135 — сверхсульфатные — Назначение 1.136 — Скорость осаждения 1.136 — Сочетания температуры и плотности тока 1.36 — с добавками катионов цинка и кадмия — Назначение 1.137 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.137, 138 — с добавками органических соединений — Добавки 1.140, 141 — Цель ввода добавок 1.140 — стандартные — Аноды 1.128 — Приготовление 1.125, 126 — Рассеивающая способность 1.127 — Скорость осаждения 1.126, 127 — Типовые режимы хромирования 1.128 — тетрахроматные — Выход по току 1.136 — Назначение 1.133 — Неполная в работе 1.137, 138 — Приготовление электролита 1.133 — Свойства покрытий 1.137 — фторидные 1.133, 134

Электролиты цинкования аммиачные — Особенности 1.173 — Улучшение структуры осадков 1.173 — для нанесения цинковых покрытий и с в на основе цинка — Катодная поляризация 1.162 — Скорость осаждения Zn в зависимости от плотности тока 1.163 — Типы 1.162, 164 — 174 с также под их названиями, например Электролиты цинкования нецистые — кые — Аноды 1.165, 166 — Вредные примеси 1.164 — Добавки 1.164 — Кислотность 1.164 — Основные компоненты 1.164 — Составы электролитов 1.164, 166, 167 — на основе аммиакокомплексных соединений и Zn — Добавки кадмия 1.173, 174 — нецианистые (цинкатные) — Анодная поляризация 1.170 — Добавки 1.168, 170 — Катодная поляризация 1.168 — Основные компоненты 1.168 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.170 — пирофосфатные — Добавки 1.171 — Исходные компоненты 1.170 — Составы

электролитов и режимы работы 1.171, 172 — щелочно-цианистые — Вредные примеси 1.168 — Добавки 1.168 — Основные компоненты 1.166 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.169, 170

Электролиты эфирно-гидридные — Анализ электролита 2.38 — Компоненты 2.37 — Особенности работы 2.37 — Подготовка поверхности 2.38 — Приготовление 2.38

Электроосаждение железа 2.45 — кадмия — Особенности ограниченных растворителей 2.44 — Режимы работы 2.44 — Составы электролитов 2.44 — кобальта — Режимы работы 2.45 — Составы электролитов 2.45 — меди — Режимы осаждения 2.43 — Составы органических электролитов 2.43 — Типы растворителей 2.43 — молибдена — Особенности процесса 2.43 — Составы электролитов 2.43 — никеля — Растворители 2.45 — Режимы осаждения 2.45 — Составы электролитов 2.45 — ниобия — Режимы осаждения 2.43 — Составы растворов 2.43 — титана — Особенности процесса 2.43 — Составы электролита 2.43 — цинка — Режимы осаждения 2.43 — Составы растворов 2.43

Электрохимия — Постоянные для уравнения Тафеля 1.25 — Стандартные электродные потенциалы металлов в водных растворах 1.22, 25 — Электрохимические эквиваленты 1.22, 25

Элементы химические — Атомная масса 1.22, 23 — Атомные номера 1.22, 23 — Валентность 1.22, 23 — Зависимость между концентрацией и плотностью раствора 1.22 — 24 — Металл в пересчете на его соль или оксид 1.22, 24

Эмаллирование алюминиевых сплавов — Приготовление раствора 2.62 — Режимы обработки 2.62 — Составы растворов 2.62

1. Бучило Э. О очистка сточных вод травильных и гальванических отделений Пер. с польск. М.: Машиностроение, 1974. 199 с.

2. Вячеслав П. М. Электролитическое осаждение сплавов. 1.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1977. 92 с.

3. Герасимов А., Милюков В. И. Определение параметров электрохимических процессов в осадочных покрытиях. М.: Машиностроение, 1980. 184 с.

4. Гилихес С. Я. Окисные и фосфорные покрытия металлов. М.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1978. 10 с.

5. Доян А., Паль Я. Я. Оборудование цинковочных электрохимических покрытий. М.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1977. 15 с.

6. Згурский В. А. Огнемасленица потреления и очистки воды в гальванических цехах Киев. Техника, 1974. 68 с.

7. Иженерная гальваника в проектировании. Под ред. М. Гинберга. 1. Машиностроение, 1977. 512 с.

8. Гагер Л. Справочник по гальваностегии. Киев. Техника, 1976. 253 с.

9. Ключков Б., Луцко С. В., Мирн В. И. Нитрование сточных вод в гальваническом производстве. М.: НИИТ восток, 1979. 72 с.

10. Котик Ф. И. Ускоренный контроль электролитов, растворов и расплавов. М.: Машиностроение, 1978. 191 с.

11. Кудрявцев Н. Т. Электролитические покрытия металлами. Л.: Химия, 1979. 302 с.

12. Марова Н. А., Лебедева М. А., Набокова В. Н. Металлопокрытия в автомобилестроении. М.: Машиностроение, 1977. 244 с.

13. Саифулин Р. С. Неорганические композиционные материалы. М.: Химия, 1983. 300 с.

14. Сребряный Л. А. Безопасность труда при нанесении гальванических покрытий. М.: Машиностроение, 1980. 70 с.

15. Смирнов Д. Н., Бен В. Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М.: Металлургия, 1980. 195 с.

16. Справочное руководство по гальванотехнике. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1969. 418 с.

17. Шалкаускас Л. И., Вильялис А. Химическая металлизация пластмасс. М.: Химия, Ленинград. отделение, 1977. 169 с.

18. Шмелева Н. М. Контроль работ по металлопокрытиям. М.: Машиностроение, 1980. 176 с.

19. Япольский А. М., Ильин В. А. Краткий справочник гальваностегии. М.: Машиностроение. Ленинград. отделение, 1981. с. 199—210.

цинк действия 1.134 — Соли-катализаторы 1.134 — Составы электролитов, их особенности, режимы работы 1.134, 135 — сверхсульфатные — Назначение 1.136 — Скорость осаждения 1.136 — Сочетания температуры и плотности тока 1.36 — с добавками катнонов цинка и кадмия — Назначение 1.137 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.137, 138 — с доавками органических соединений — Добавки 1.140, 141 — Цель ввода добавок 1.140 — стандартные — Аноды 1.128 — Приготовление 1.125, 126 — Рассеивающая способность 1.127 — Скорость осаждения 1.126, 127 — Типовые режимы хромирования 1.128 — тетрахроматные — Выход по току 1.136 — Назначение 1.133 — Неполная в работе 1.137, 138 — Приготовление электролита 1.133 — Свойства покрытий 1.137 — фторидные 1.133, 134
 Электролиты цинкования аммиачные — Особенности 1.173 — Улучшение структуры осадков 1.173 — для нанесения цинковых покрытий и с в на основе цинка — Катодная поляризация 1.162 — Скорость осаждения Zn в зависимости от плотности тока 1.163 — Типы 1.162, 164 — 174 с также под их названиями, например *Электролиты цинкования нецисые* — кые — Аноды 1.165, 166 — Вредные примеси 1.164 — Добавки 1.164 — Кислотность 1.164 — Основные компоненты 1.164 — Составы электролитов 1.164, 166, 167 — на основе аммиакокомплексных соединений и Zn — Добавки кадмия 1.173, 174 — нецианатные (цинкатины) — Анодная поляризация 1.170 — Добавки 1.168, 170 — Катодная поляризация 1.168 — Основные компоненты 1.168 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.170 — пирофосфатные — Добавки 1.171 — Исходные компоненты 1.170 — Составы электролитов и режимы работы 1.171, 172 — щелочно-цианистые — Вредные примеси 1.168 — Добавки 1.168 — Основные компоненты 1.166 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.169, 170
 Электролиты эфирно-гидридные — Анализ электролита 2.38 — Компоненты 2.37 — Особенности работы 2.37 — Подготовка поверхности 2.38 — Приготовление 2.38
 Электроосаждение железа 2.45 — кадмия — Особенности ограниченных растворов 2.44 — Режимы работы 2.44 — Составы электролитов 2.44 — кобальта — Режимы работы 2.45 — Составы электролитов 2.45 — меди — Режимы осаждения 2.43 — Составы органических электролитов 2.43 — Типы растворителей 2.43 — молибдена — Особенности процесса 2.43 — Составы электролитов 2.43 — никеля — Растворители 2.45 — Режимы осаждения 2.45 — Составы электролитов 2.45 — ниобия — Режимы осаждения 2.43 — Составы растворов 2.43 — титана — Особенности процесса 2.43 — Составы электролита 2.43 — цинка — Режимы осаждения 2.43 — Составы растворов 2.43
 Электрохимия — Постоянные для уравнения Тафеля 1.25 — Стандартные электродные потенциалы металлов в водных растворах 1.22, 27 — Электрохимические эквиваленты 1.22, 25
 Элементы химические — Атомная масса 1.22, 23 — Атомные номера 1.22, 23 — Валентность 1.22, 23 — Зависимость между концентрацией и плотностью раствора 1.22 — 24 — Металл по расчету на его соль или оксид 1.22, 24
 Эматаллирование алюминиевых сплавов — Приготовление раствора 2.62 — Режимы обработки 2.62 — Составы растворов 2.62

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бучило Э. Очистка сточных вод травильных и гальванических отделений Пер. с польск. М.: М алдургия, 1974. 199 с.
2. Вячеслав П. М. Электролитические покрытия сплавов. 1.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1977. 92 с.
3. Герасимов А., Милюков В. И. Определение параметров электрохимических процессов в осадочных покрытиях. М.: М алдургия, 1980. 184 с.
4. Гилих С. Я. Окисные и фосфатные покрытия металлов. М.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1978. 10 с.
5. Доян А. А., Паль Я. Я. Оборудование цехов электрохимических покрытий. М.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1977. 15 с.
6. Згурский В. А. Очистка и обработка сточных вод в гальванических цехах Киев. Техника, 1974. 68 с.
7. Иженерная гальваника в промышленности П. Дред. М. Гинберга. 1. Машиностроение, 1977. 512 с.
8. Гаврилов Л. С. Справочник по гальванике. Кн. 1. Техника, 1976. 253 с.
9. Ключков Б., Луцко С. В., Мринов В. Г. Нитрование сточных вод в гальваническом производстве. М.: НИИТ восток, 1979. 72 с.

10. Котик Ф. И. Ускоренный контроль электролитов, растворов и сплавов. М.: Машиностроение, 1978. 178 с.
11. Кудрявцев Н. Т. Электролитические покрытия металлами. Л.: Химия, 1979. 352 с.
12. Макарова Н. А., Лебедева М. А., Набокова В. Н. Металлопокрытия в автомобилестроении. М.: Машиностроение, 1977. 244 с.
13. Саффулин Р. С. Теоретические композиционные материалы М.: Химия, 1983. 300 с.
14. Сребрянский Л. А. Безопасность труда при нанесении гальванических покрытий. М.: Машиностроение, 1980. 70 с.
15. Смирнов Д. Н., Бен В. Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М.: Металлургия, 1980. 195 с.
16. Справочное руководство по гальванике Пер. с нем. М.: М алдургия, 1969. 418 с.
17. Шалкаускас А. И., Вильялис А. Химическая металлургия пластмасс. М., Химия, Ленинград. отд-ние, 1977. 169 с.
18. Шмелева Н. М. Контроль работ по металлопокрытиям. М.: Машиностроение, 1980. 176 с.
19. Япольский А. М., Ильин В. А. Краткий справочник гальваника. М.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1981, с. 199—210.

Федор Федорович Ажогин,
Илья Николаевич Андреев,
Владимир Анатольевич Казаков и др.

Гальванические покрытия в машиностроении. Т. 2

Редактор Т. Д. Онегина
Художественный редактор В. В. Дичи
Переплет художника Г. Г. Козлова
Технический редактор А. С. Давыдова
Корректоры А. А. Сестина, Л. Е.
Сонина

ИБ № 71

Сдано в набор 02.10 Подписано в п
чать 25.10.85, Т 01889 Формат 60х90
Бумага типографская Л. Гарнитур л
тературный Печать выкая. Усл. ч
15,5 Упр. отт 1 Уч. и д. л 1
Тираж 31 000 3 кз 2
Цена 1 р. 60 к.

Орден Т. дового 1 го Зн е
издательство «Машиностроение»,
107076, Москва, Строгоский пер., 4

Ленинградская типография № 1
Трудовой Краснооктябрьской Лени
ского объединения химической
им. Евгения Соколова Союзполиграф
ма при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли
193144, г. Ленинград ул. Моисеева, 1